



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO

Título del proyecto:

DISEÑO DE SILLA DE RUEDAS CON PALANCA DE
PROPULSIÓN

Iñaki Torán Huarte

Pedro María Villanueva Roldán

Pamplona, 20 de Febrero de 2014

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 0: INTRODUCCIÓN.....	4
CAPÍTULO 1: PERCEPCIÓN DE LA NECESIDAD.....	6
CAPÍTULO 2: ESTUDIO DE MERCADO	10
2.1. El Mercado	10
2.2. Pliego de Condiciones de Marketing (PCM)	20
2.3. Ficha de Programa	26
CAPÍTULO 3: EL ANÁLISIS FUNCIONAL.....	30
3.1. Análisis funcional.....	30
3.2. El Pliego de Condiciones Funcional	44
CAPÍTULO 4: LA FUNCIÓN DE CALIDAD.....	48
4.1. La Casa de la Calidad.....	48
4.2. Segunda Matriz del QFD	62
CAPÍTULO 5: DISEÑO CONCEPTUAL.....	66
5.1. Generación de soluciones	66
5.2. Evaluación y Selección de Soluciones	72
5.3. Evaluación y Selección de Soluciones	83
CAPÍTULO 6: ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)	86
6.1. Elaboración del AMFE.....	86
6.2. Resultado del AMFE	91
6.3. Conclusiones del AMFE	102
CAPÍTULO 7: DISEÑO EN DETALLE.....	106
7.1. Restricciones generales.....	106
7.2. Chasis	123
7.3. Reposabrazos.....	135
7.4. Reposapiés	138
7.5. Asiento	141
7.6. Palancas de propulsión.....	145
7.7. Ruedas.....	169
7.8. Eje.....	173
7.9. Sistema de bloqueo	175
7.10. Producto final.....	176
CAPÍTULO 8: ANÁLISIS ECONÓMICO	180
8.1. Costes	180
8.2. Cálculo de Costes y Beneficios.....	181
CAPÍTULO 9: CRÍTICA.....	188
BIBLIOGRAFÍA	191



CAPÍTULO 0: INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 0: INTRODUCCIÓN

Desde hace ya unos años, la gran mayoría de los países del mundo afrontan una crisis económica la cual no se sabe si se podrá solucionar o no. La población, intenta adaptarse a las circunstancias y reducen el consumo de productos, lo que afecta a los mercados.

Las medidas tomadas por las empresas para seguir a flote son varias: aumentar o disminuir el precio de sus productos, darles mayor publicidad, abaratar los costes de producción...

Una de estas medidas y una de las más graves ha sido la reducción del sueldo de los trabajadores o, lo que es peor, el despido de éstos. Las cifras del paro en España no dejan de subir y el mercado, en general, se está viendo gravemente perjudicado.

Tiempo atrás, Henry Ford, el fundador de la compañía automovilística Ford Motor Company, les pagaba a sus trabajadores un salario que duplicaba el normal. De esta forma, disminuía el absentismo laboral, aumentaba la productividad y la eficiencia disminuyendo los costes de producción. Una medida que lo llevó al éxito, puesto que, además de lo anterior, el trabajador disponía de un sueldo con el que podía permitirse un coche Ford, con lo que crecía el número de clientes y de ventas.

Ésta fue una de las grandes ideas que tuvo Ford que permitieron que triunfara en el mercado y que no se toman en la actualidad.

La filosofía mercantil ha cambiado desde entonces. La sociedad de consumo ha llegado a tal punto que ahora las empresas intentan vender como necesarios productos que la gente no necesita y que, a duras penas se pueden permitir y es un gravísimo error, junto con las inadecuadas medidas que toman para seguir a flote.

Tal como está la situación económica, debemos reiniciar el concepto de diseño de producto y retornar a los valores que, a lo largo de estos últimos años, han ido perdiendo peso.

El primer paso que quiero dar es observar con detenimiento la definición de ingeniería. ***“La ingeniería es el compendio de conocimientos y técnicas científicas aplicadas a la invención, perfeccionamiento y utilización de técnicas para la resolución de problemas que afectan directamente a la sociedad en su actividad cotidiana.”***

Hemos de centrarnos principalmente en ese objetivo. En este caso, en una sociedad repleta de comodidades es complicado hallar un gran problema que no esté resuelto, no obstante, solamente hemos de echar un vistazo a los más necesitados para darnos cuenta de que sigue habiendo un importante hueco donde puede introducirse la ingeniería.

Gente que no busca un coche para llegar antes a su destino, ni un televisor para entretenerse, ni una lavadora para lavar su ropa, sino un artefacto que le permita desenvolverse en su entorno como una persona cualquiera, ya que por sí sólo no puede.

No tendríamos que satisfacer necesidades creadas cuando aún quedan necesidades reales que no han quedado del todo satisfechas.

Por ello, se ha decidido hacer un diseño de una silla de ruedas, a la que se le añadirá un mecanismo especial con el fin de facilitar el día a día a personas que tienen muchas más limitaciones que una persona que goza de total salud.



CAPÍTULO 1: PERCEPCIÓN DE LA NECESIDAD

CAPÍTULO 1: PERCEPCIÓN DE LA NECESIDAD

La silla de ruedas es una ayuda técnica, un medio de transporte común que permite el desplazamiento de aquellas personas con problemas de locomoción o movilidad reducida, debido a una lesión, enfermedad física (paraplejía, tetraplejía...) o psicológicas. Existen sillas de diseño manual y eléctrico.

Vamos a centrarnos en las sillas de ruedas diseñadas para personas que la emplean de manera autónoma, aquellas con capacidad para manejar la silla por sí mismas, sin depender de nadie que les lleve.

Dichas personas se han acostumbrado a desplazarse utilizando la silla de ruedas, ya sea de forma manual o eléctrica, porque no poseen una enfermedad psicológica o física que se lo impida. En su gran mayoría son personas que no puede hacer uso de las piernas pero sí de otras partes del cuerpo para manejar la silla.

No obstante, tener una discapacidad motriz tal como la paraplejía implica una serie de desventajas frente a las personas que sí pueden hacer uso de sus piernas, aun empleándose una silla de ruedas.

Las personas discapacitadas tienen serias dificultades para desenvolverse en el estilo de vida rutinario:

- Al estar sentad@ en una silla, no puede realizar aquellas acciones para las que se necesita estar erguido, como puede ser alcanzar objetos que se encuentran a una determinada altura, observar un espectáculo entre la multitud, etc. El hecho de estar obligado a actuar en un plano espacial inferior al de las personas que están de pie una limitación tanto física como psicológica.
- La silla de ruedas se impulsa con los brazos supliendo a las piernas en la función del desplazamiento, lo cual puede resultar un ejercicio fatigoso si se realiza durante largos períodos de tiempo. En función del peso de la silla, del método empleado para la propulsión o de la posición que el usuario adopta para ésta, este ejercicio requerirá mayor o menor esfuerzo. Por ello, el usuario que emplee una silla ha de encontrarse en una posición cómoda y poder realizar la propulsión de forma continua sin que note apenas molestia muscular. De lo contrario, esto podría perjudicar su salud.
- Ya sea de forma manual o eléctrica, el empleo de la silla a la hora de desplazarse limita el empleo de las manos, puesto que requiere el uso de las dos manos o de una sola, respectivamente. Esto hace que sean dificultosas acciones tan cotidianas como leer, operar con el móvil o buscar entre los bolsillos mientras se camina.
- El acceso a los sitios debe disponer de una rampa que posibilite la entrada de una silla de ruedas y, no en todos los establecimientos se encuentra dicha rampa.



- La libertad de movimientos, en general, también se ve afectada de forma que el individuo que use la silla de ruedas no puede o muy difícilmente puede actuar como una persona con pleno uso de sus facultades motrices lo haría de la forma más natural. Se requiere maniobrar bastante para hacer un movimiento concreto aparte que se necesita estar acostumbrado al manejo de la silla.
- Otra de las necesidades de una persona que se encuentra en silla de ruedas es la de visitar constantemente al fisioterapeuta para que le practique ejercicios en las piernas, las cuales al no usarse presentan a la larga problemas. Gracias a los ejercicios fisioterapéuticos, se impide que empeore su circulación, la atrofia muscular, etc.
- Estar sentado continuamente sin cambiar apenas de posición genera fatiga y sensación de incomodidad. Existe la necesidad de cambiar de posición de manera autónoma, prescindiendo de ayuda externa.

Todos estos obstáculos no sólo impiden un desarrollo normal y natural de la vida diaria del individuo, impidiéndole trabajar, disfrutar o, simplemente, actuar como cualquier otra persona, sino que además afecta al autoestima del mismo, dado que no se sentirá como parte del resto hasta el punto de que pueda llegar a sentirse inferior. Esto último, en muchos casos, infiere en el estado anímico y/o psicológico de la persona muy negativamente.

Vemos que, principalmente, se tratan de necesidades fisiológicas básicas que, en consecuencia, directa o indirectamente, afectan a las necesidades de salud, seguridad, aceptación social y autoestima.

El estudio de las necesidades realizado guía el diseño, es decir, ayuda a orientarnos sobre qué tipo de producto deberíamos desarrollar. Tras el análisis de cada una de ellas, hemos caído en la cuenta de que cualquier extravagancia en el diseño puede afectar negativamente en la imagen que pueda tener sobre sí mismo el usuario que emplee la silla.

Hemos optado por la sencillez y nos hemos centrado en la necesidad de crear una silla de ruedas cómoda cuyo fin sea disminuir el esfuerzo que realiza la persona que la usa. Para ello, se pretende diseñar una silla de ruedas que sea más o menos ligera y que ofrezca una alternativa a los aros de propulsión.

Los aros de propulsión son la medida más clásica para el desplazamiento de la silla. No obstante, presentan una serie de problemas:

- Un esfuerzo muscular considerable.
- Una postura de propulsión que no es totalmente cómoda.
- Lesiones en la mano por el posible contacto con la rueda en movimiento.
- Probabilidad alta de que la mano se ensucie por el barro que arrastra el neumático.

Una vez estudiada la necesidad que queremos abordar, damos paso al estudio de mercado.





CAPÍTULO 2: ESTUDIO DE MERCADO

CAPÍTULO 2: ESTUDIO DE MERCADO

2.1. El Mercado

El mercado enfocado a las ayudas técnicas para gente con algún tipo de discapacidad es de gran importancia social, no se puede prescindir de él porque se ofrecen productos que no crean una necesidad en el consumidor, sino que atienden directamente a una necesidad evidente que éste tiene, a un problema que requiere solución inmediata para que el cliente pueda interactuar como es debido con su entorno.

Es un mercado en el que se pretende innovar y emplear las nuevas tecnologías para ofrecer una mayor comodidad a esas personas que, desafortunadamente, viven con multitud de limitaciones.

No obstante, para contribuir de forma notable en este mercado, se deberá estudiar los problemas del consumidor a fondo para el posterior diseño de un producto que satisfaga con creces sus necesidades, pues se tratan de necesidades vitales.

Cualquier novedad tecnológica que pueda optimizar el producto va a ser muy bien recibida por el comprador, pues afecta a su día a día y a todas las acciones que realiza. Por eso, en el estudio de mercado sobre todo hay que hacer especial hincapié en los productos de la competencia, para conocer qué problemas del cliente ya se han abordado y cuáles no.

2.1.1. Estudio

Para prever con mayor exactitud la acogida que tendrá en el mercado el producto que se pretende diseñar, habrá que realizar un estudio adecuado de a qué sector de la sociedad va enfocado y el tamaño del mismo, así como las condiciones económicas del territorio de venta para diseñar el producto prestando atención a su coste final.

Dado la industria de las sillas de ruedas abarca innumerables variedades, habrá que enumerar cuántos tipos de sillas hay, así como sus distintos usos o distintos tipos de enfermedades que tienen los usuarios que las emplean.

El estudio será, principalmente, a nivel nacional, sin embargo, la distribución del producto podrá ser en un futuro a nivel internacional.

2.1.1.1. Tipos de sillas

El tipo de silla escogida por el consumidor dependerá tanto de su tipo de discapacidad, como del uso que éste pueda hacer de ella. Aquí se encuentran las más comunes. (info: www.chairdex.com/stypes.htm)

Sillas de ruedas manuales

Las sillas de ruedas manuales son aquellas movidas por el usuario o un ayudante. Las sillas propulsadas por uno mismo usualmente tienen ruedas traseras de entre 20 y 26 pulgadas de diámetro fijadas a un eje y posicionadas de forma que los usuarios pueden moverlas empujando hacia abajo o tirando hacia arriba los bordes para empujar. Por eso

los usuarios pueden viajar hacia adelante y hacia atrás a velocidades dictadas por la cantidad de fuerza que son capaces de aplicar.

Controlando los aros para empujar, los usuarios también pueden girar a la izquierda o a la derecha y sortear pequeñas depresiones y subidas que se encuentren por delante. Para operar sillas de ruedas manuales exitosamente, sin embargo, los usuarios deben tener un buen estándar de habilidad muscular y coordinación en sus brazos y hombros.

Sillas de ruedas eléctricas

Las sillas de ruedas con motor eléctrico son ideales para cualquiera que no posea la fuerza o la habilidad para arreglárselas con una silla manual. Las baterías recargables montadas bajo el asiento suministran la energía para los motores eléctricos que impulsan dos o bien las cuatro ruedas. Como con los autos, los diferentes arreglos de tracción determinan la forma en que la silla de ruedas se mueve y maniobra.

Las baterías vienen en tres tipos: célula-húmeda, célula-gel, y AGM (alfombra de vidrio absorbida, del inglés "absorbed glass mat").

- Las baterías de célula-húmeda son las más livianas, más baratas y menos plausibles de ser sobrecargadas. Tienden a gotear, sin embargo, por lo que no pueden llevarse en aviones.
- Las baterías de célula-gel son más pesadas pero no gotean. Duran más tiempo que las baterías de célula-húmeda y son aceptables para viajes aéreos.
- Las baterías AGM son pesadas y costosas, pero son adecuadas para aviones, son resistentes al shock y a prueba de pérdidas, y no requieren mantenimiento.

Las baterías mencionadas arriba pueden necesitar ser cargadas por una unidad separada, pero las sillas de ruedas eléctricas más modernas simplemente pueden enchufarse a una toma de corriente.

Aparte de la elección de las baterías, existen opciones para manejar la dirección y velocidad de las sillas de ruedas eléctricas. Muchas tienen una pequeña unidad de mando que se monta al final de un reposabrazos o en una barra que se balancea frente al usuario una vez que él o ella está sentado. Otros tienen tubos dentro los que los usuarios soplan o chupan para controlar los movimientos de la silla.

El nivel de discapacidad experimentado por los usuarios de sillas de ruedas eléctricas también se refleja en el diseño de otras características. Éstas incluyen:

- mecanismos de giro;
- respaldos reclinables;
- elevadores para asiento, piernas o brazos.

La mayoría de estas funciones son controladas por pequeños motores eléctricos y permite a los usuarios sentirse tan confortables como sea posible en la silla

Sillas tipo scooter

Las sillas tipo scooter (wheelbase) tienen cuatro pequeñas ruedas que se extienden desde una plataforma baja. El tipo de silla montada sobre esta plataforma varía de acuerdo con la discapacidad y las necesidades del usuario, algunas incluso son modeladas a partir de un molde tomado de la postura más apropiada del usuario sentado.

Una de las ventajas de las máquinas tipo scooter es que la silla puede pivotar y permitir al usuario subirse de cualquiera de los lados. Una desventaja es que el usuario debe mantener una postura rígida cuando maneja. Esto significa que las sillas tipo scooter rara vez son apropiadas para los discapacitados graves.

Los controles de las sillas tipo scooter se montan en un marco que se curva hacia arriba desde el frente de la plataforma hasta una altura y posición convenientes para el usuario. Una barra de manejo horizontal se adjunta a través de la parte superior del marco.

Sillas para deportes

Desde los 1970s, los atletas discapacitados han tenido una colección de sillas de ruedas especiales en aumento para ayudarles a alcanzar lo mejor de su deporte elegido. Estas sillas pueden lucir muy diferentes entre sí, pero lo que usualmente tienen en común es

- marcos livianos hechos de materiales compuestos;
- solidez (que significa que no se pliegan); y
- estabilidad mejorada para giros bruscos (esto se alcanza usando ruedas en ángulo).

Sillas de ruedas que suben escaleras

Subir escaleras es el máximo desafío para una silla de ruedas, y existe un número de soluciones disponibles.

- Soportes operados a batería en la parte posterior que actúan como estabilizadores a medida que la silla sube.
- Una serie de ruedas flexibles girando dentro de un sendero de goma que se agarra a los escalones.
- Plataformas independientes que suben escaleras a las que se asegura la silla de ruedas.

La mayoría de las sillas de ruedas que suben escaleras aun necesitan un tercero que actúe como auxiliar. Alternativamente, el usuario de silla de ruedas debe ser capaz de agarrar un pasamanos adecuado.

Sillas de ruedas pediátricas

Las sillas de ruedas pediátricas están diseñadas para niños discapacitados. Las sillas no sólo son más pequeñas que los equivalentes convencionales; pueden ser ajustadas en algunas instancias para dar a los niños la máxima libertad para sentarse, reclinarse, y recostarse.

2.1.1.2. Tipos de enfermedad o discapacidad

Éstas son las distintas enfermedades o discapacidades más significativas que tienen los usuarios de las sillas de ruedas.

- **Paraplejía:** Es una enfermedad por la cual la parte inferior del cuerpo queda paralizada y carece de funcionalidad. Mientras que algunas personas que padecen paraplejía pueden caminar hasta cierto punto, la mayoría dependen de una silla de ruedas, prótesis o de otros dispositivos para disponer de movilidad.
- **Tetraplejía:** La **tetraplejía** o **cuadriplejía** es un síntoma por el que se produce parálisis total o parcial en brazos y piernas causada por un daño en la médula, específicamente en alguna de las vértebras cervicales.
- **Hemiplejía:** Es un trastorno del cuerpo del paciente en el que la mitad lateral de su cuerpo está paralizada. Es normalmente el resultado de un accidente cerebrovascular, aunque también pueden provocarla patologías que afecten la espina dorsal o los hemisferios cerebrales.
- **Esclerosis múltiple:** Es una enfermedad consistente en la aparición de lesiones desmielinizantes, neurodegenerativas y crónicas del sistema nervioso central. A causa de sus efectos sobre el sistema nervioso central, puede tener como consecuencia una movilidad reducida e invalidez en los casos más severos. Quince años tras la aparición de los primeros síntomas, si no es tratada, al menos 50% de los pacientes conservan un elevado grado de movilidad. Menos del 10% de los enfermos mueren a causa de las consecuencias de la esclerosis múltiple o de sus complicaciones. Existen más de 2,5 millones de personas en el mundo que sufren esclerosis.
- **Vejez:** El desgaste muscular y de la estructura ósea (artrosis) típico entre la gente de avanzada edad muchas veces supone un problema para su movilidad, obligando a muchos ancianos a ayudarse por medio de una silla de ruedas. Si nos referimos a los **datos generales de España**, en enero de 2011 se estima que hay una población de 7.869.759 de personas de la tercera edad, de las que el 21,94% tienen edades comprendidas entre los 65 y los 69 años; el segmento poblacional de personas entre 70 y 79 años es el más numeroso representando el 44,66% -es importante destacar que el anterior grupo recoge a personas dentro de un rango de 5 años, mientras que este conjunto integra una diferencia de edad de 10 años-; el segmento de personas con edades entre 80 y 89 años representan el 27,92%. A partir de esta edad el número de personas supervivientes baja mucho siendo los mayores con edades entre 90 y 99 años el 5,39% y los seres humanos de más 99 años solamente el 0,07%.
- **Amputaciones:** Ya sea por traumatismo o cirugía, existen personas sin una o sin las dos piernas, debido a una amputación. Se puede emplear la amputación como una medida quirúrgica para controlar el dolor o un proceso causado por una enfermedad en la extremidad afectada, por ejemplo un tumor maligno o una gangrena. Careciendo de una sola pierna, es común el uso de prótesis o muletas. Sin embargo, si el sujeto ha perdido sus dos piernas, más corriente que el empleo de dos prótesis es el de la silla de ruedas.

2.1.1.3. Estudio de posibles alternativas

Con el fin de orientarnos sobre qué tipo de silla sacaremos al mercado, diremos cual es recomendable en función de la enfermedad que se tenga y, más tarde, estudiaremos el índice de personas con esa enfermedad para saber qué silla podría ser la mejor candidata para competir en el mercado.

A continuación, se citarán las enfermedades ya mencionadas y el tipo de silla de ruedas que se suele emplear para tales enfermedades:

Hemiplejía

La silla de ruedas liviana, con asiento bajo, es una posibilidad razonable.

Personas de edad avanzada

Tercera edad: una silla de ruedas liviana, que esté medianamente perfeccionada, suele resultar satisfactoria.

Cuarta edad: silla sumamente cómoda empujada por otra persona.

Esclerosis en placas y otras enfermedades neurológicas evolutivas

Cuadro poco evolutivo: silla de ruedas liviana, muy perfeccionada, propulsada por el paciente.

Cuadro evolutivo:

— Silla de ruedas liviana medianamente perfeccionada (fácil de transportar y de empujar), eventualmente con respaldo reclinable (comodidad);

— para obtener una real autonomía a menudo es necesario prescribir una silla de ruedas eléctrica.

Pacientes amputados: Silla de ruedas liviana medianamente perfeccionada con ruedas traseras desplazadas hacia atrás para evitar el riesgo de vuelco de espaldas; eventualmente, respaldo reclinable.

Pacientes parapléjicos: Necesidad de una silla de ruedas muy perfeccionada, a medida, con multipalier en las ruedas traseras, o aun de una silla de ruedas deportiva.

Pacientes tetrapléjicos (según el nivel de la lesión y su carácter más o menos completo):

El mismo tipo de silla de ruedas que para las personas parapléjicas, con algunos accesorios suplementarios (pasamanos antideslizantes, prolongación del mando de freno, dispositivo antibáscula); o bien una silla de ruedas eléctrica, preferentemente con asiento adaptado y reclinaciones eléctricas (asiento, respaldo, apoyapiernas)

Ahora veremos, clasificado por edades, el número aproximado de gente con una determinada discapacidad.

Población con discapacidad según tipo de deficiencia y número de discapacidades que tiene por edad y sexo.

Unidades: miles de personas

	De 6 a 64 años	De 65 a 79 años	De 80 y más años	Total
Extremidades inferiores	161,6	231,5	249,4	642,5
Paraplejia	15,7	6,1	4,6	26,3
Tetraplejia	7,1	2,8	3,0	12,9
Esclerosis múltiple	-	-	-	40,0

Datos obtenidos del INE, salvo los de esclerosis múltiple, obtenidos de FELEM

Como apreciamos en la tabla, predominan los casos en los que existen deficiencias en las extremidades inferiores. No obstante, se trata de un dato muy relativo porque lo más probable es que esa cifra no represente a personas que utilicen silla de ruedas, sino que engloba más discapacidades, que permitan andar aunque con dificultad. De todas formas, salvo para las personas de muy avanzada edad, las sillas empleadas serían la eléctrica y la manual estándar.

Otras cifras a tener en cuenta son las de la paraplejia y la tetraplejia, pues tales enfermedades obligan a la persona a usar silla de ruedas. Vemos que el índice para ambas es mayor de 6 a 64 años. A partir de esa edad, es corriente el uso de sillas que se empujan por otras personas, puesto que a avanzadas edades no se tiene suficiente fuerza ni agilidad en los brazos para empujar una silla de ruedas grandes por uno mismo.

Como la cifra representa un intervalo de edades donde la vejez no entorpece al usuario ni física ni psicológicamente, vamos a centrarnos en las sillas manuales estándar y en las eléctricas, comunes para los casos de paraplejia y tetraplejia, respectivamente.

El número total de personas que padecen esclerosis múltiple es una cantidad relevante, sin embargo, se trata de una enfermedad de consecuencias en la capacidad motora variadas. Se emplea la silla de ruedas eléctricas si presenta un cuadro evolutivo pero, en muchos casos, se usa la manual.

Por el momento, hemos apreciado que la silla de ruedas estándar es, probablemente, más potencialmente competitiva dentro del mercado, seguida de la silla de ruedas eléctrica.

Seguiremos con el estudio de mercado para saber en cuál de las dos centrarnos.

2.1.2. Segmentación de mercado

A continuación, se realizará un estudio de las diferentes variables que afectan al mercado de las sillas de ruedas.

- **Variables geográficas:** La intención principal es la comercialización del producto en España, con futura expansión a nivel europeo.

España es un país donde, por lo general, sus ciudades están prácticamente adaptadas para una persona en silla de ruedas. Gracias a la **Ley 13/1982, de 7 de abril, de Integración Social de los Minusválidos**, la mayoría de lugares públicos cuenta con acceso para minusválidos. Dado que España es uno de los países europeos más atrasados, la gran mayoría de países restantes de Europa tendrán mejor acondicionamiento de sus calles a la accesibilidad para los minusválidos.

El consumidor comprará el producto si lo requiere su condición, pero será más optimista en su compra si sabe que las condiciones para su empleo son óptimas. Y dado que en este territorio de venta no existe casi ningún problema al respecto, la compra será más favorable.

- **Variables demográficas:** Hemos estudiado la cantidad de gente con discapacidades motoras con el fin de determinar el posible número de clientes. Nos interesan principalmente, aquellas personas que, aún no pudiendo mover sus piernas, tengan una movilidad de los brazos favorable para el empleo de una silla de ruedas estándar. Es decir, el producto estará más enfocado a personas de entre quince y sesenta y cinco años que tengan paraplejia, hemiplejia o cualquier tipo de parálisis o disfunción en las extremidades inferiores que les impida andar.

Este grupo de personas al que va enfocado, por lo general y a pesar de su discapacidad, desea gozar de autonomía en su vida diaria y debemos proporcionarles un artículo cómodo y de fácil manejo, con prestaciones tales que hagan disminuir su esfuerzo aumentando su eficiencia.

- **Variables económicas:** El precio, en la actualidad, es un factor clave en la actualidad debido a los problemas económicos que produce la crisis en la población de varios países. Hay que procurar desarrollar un producto cuyo nivel calidad/precio sea razonable. Si se consigue diseñar un producto que mejore características tales como ligereza, comodidad, manejo, mantenimiento, durabilidad, entre otras, de forma que el precio final sea reducido en relación a la competencia, la acogida del producto en el mercado será buena y un gran porcentaje de la gente con discapacidad escogerá una silla de nuestra marca.

Por otra parte, si el coste es elevado con respecto a lo que ofrece la competencia, se deberá compensar con una innovación revolucionaria que cambie totalmente el estilo de vida del cliente.

Hay que tener en cuenta la situación económica de las personas que presentan el perfil estudiado. Estamos tratando con personas con discapacidad, lo cual dificulta su vida laboral y, por tanto, su economía de forma considerable. Un dato a favor es que, en la mayoría de los casos, el Gobierno ofrece ayudas económicas para facilitarles, entre otras cosas, la compra de ayudas técnicas como puede ser la silla de ruedas.

Dada la situación actual, podría ser muchísimo más recomendable la primera opción.

2.1.3. Competencia

El estudio de este mercado en lo referente a número de empresas y variedad de productos resulta muy complicado dado que existen multitud de entidades que trabajan con estos artículos y cada una de ellas vende innumerables tipos de sillas, con un amplio abanico de sillas dentro de cada tipo, con múltiples accesorios... La discapacidad de cada comprador es prácticamente única y el producto ha de adaptarse a las necesidades y exigencias de cada uno.

No existe una silla que sirva para todo. Por ejemplo, una silla de ruedas manual estándar es muy apropiada para la calle pero, en casa, a menos que los marcos de las puertas sean anchos y especialmente adaptados, es complicado usarla y se debe usar otro tipo de silla.

Es por esta razón por la que cada compañía comercia con diversos tipos y dentro de cada uno existen diferentes modelos adaptados al gusto del consumidor.

Aquí tenemos una lista de las principales empresas del mercado de las ayudas técnicas y algunos de sus modelos más actuales:

- **Rehagirona**: cochecitos de rehabilitación, andadores infantiles, bipedestadores, triciclos, chasis, sillas de interior, asientos de coche, sillas de ruedas manuales y eléctricas, scooters, cojines antiescaras, ayudas a mayores, camas, rampas de acceso...



Modelo Inovys: basculante y reclinable. Destaca por el confort y sus numerosas regulaciones.

Precio estimado: 1.150 €

- **Sunrise Medical**: sillas de ruedas activas, eléctricas, deportivas...



Modelo Quickie Helium: Diseño e ingeniería, nuevas técnicas de moldeo del aluminio más ligero, espíritu deportivo y opciones high-tech para una silla que destaca sobre todo por su diseño, ligereza (de tan sólo 6,5 kg) y maniobrabilidad en espacios reducidos.

Precio estimado: 2.200 €

Entre otras muchas marcas similares encontramos Invacare, Forta, Guidosimples, B+B, etc. Esto nos señala que existe mucha competencia y, por tanto, debemos intentar competir intentando algo nuevo.

A continuación, veremos modelos y experimentos totalmente revolucionarios de sillas de ruedas que nos pueden servir de inspiración:

1) **Silla Ibot** (marca Johnson&Johnson)

Sólo se vende en USA e Inglaterra, su precio ronda los 24.000 €. Estamos ante la silla más avanzada del mercado con mucha diferencia.



La silla, mediante la integración de sensores, giróscopos y múltiples microprocesadores permite mantener el equilibrio en diversas situaciones. Esta silla permite 4 tipos de funcionamiento que llaman, “tracción 4 ruedas”, “equilibrio”, “escaleras” y “modo normal”.

Tracción 4 ruedas: nos permite ir por terrenos difíciles sin ningún tipo de problema. Podremos ir por campo sin problema, subir y bajar desniveles casi sin inmutarnos, e incluso movernos sobre tierra abundante.

Equilibrio: la silla es capaz de levantarse únicamente sobre dos ruedas. Pero no solo eso, incluso si el usuario realiza movimientos, la silla es capaz de mantener equilibrio. Nos podemos situar a la misma altura que cualquier persona a pie. Podremos llegar a lugares altos o incluso andar con gente a pie a su misma altura.

Escaleras: es capaz de subir escaleras. Para ello, las 4 ruedas son capaces de ir rotando según se van subiendo las escaleras.

2) **Silla de ruedas por engranajes**

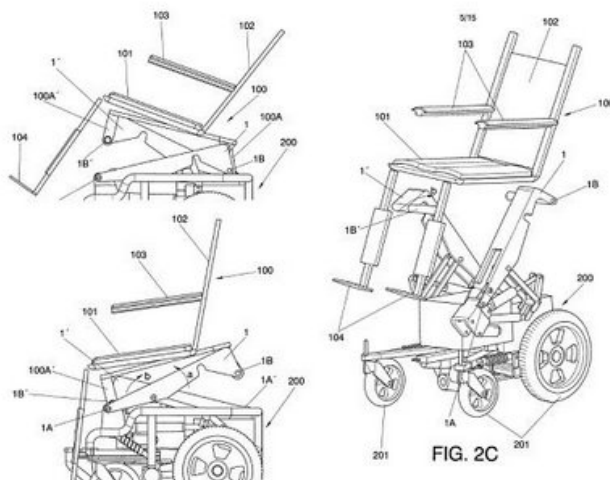
El Grupo de Mecánica y Transporte de la Universidad de Extremadura han patentado un nuevo mecanismo de propulsión para sillas de rueda. Un mecanismo que permita superar la “ineficiencia energética de los sistemas actuales” y evitar las habituales lesiones en la columna vertebral y en las muñecas que sufren los usuarios de estas sillas.

La idea es rediseñar el mecanismo que utilizan estas sillas y acoplarle una transmisión de engranajes. Gracias a este nuevo planteamiento, los discapacitados que utilicen las sillas patentadas por la UEx, podrán superar manualmente pendientes, y beneficiarse de una mayor comodidad.

Otra ventaja del sistema ideado desde la Universidad es que totalmente compatible con los mecanismos asistidos, los más extendidos entre los usuarios. Esto significa que con unas mínimas modificaciones se podrá adaptar la práctica totalidad de las sillas de ruedas utilizadas hoy en día.

3) Silla de ruedas elevable

La empresa Fundación Tekniker, ha solicitado una patente PCT, en la que se describe un invento basado en una silla de ruedas en la que el asiento puede regularse en altura con respecto a la parte inferior, y la inclinación de la parte de asiento puede regularse en el plano vertical que se extiende en la dirección longitudinal de la silla, mediante un mecanismo de acoplamiento.



Para finalizar el estudio de los productos de la competencia, analizaremos dos modelos que presentan, en cierta manera, las características innovadoras que buscamos.

- Silla de ruedas Wijit



Se trata de una silla con un sistema que consiste en que moveremos la silla mediante una especie de movimiento de remo. Y la característica más importante es que según el fabricante, nuestra fuerza se verá amplificada en un 45%.

Precio estimado: 3.500 €

- **Silla de ruedas Nordigo**



La empresa irlandesa Nordigo ha desarrollado un sistema similar al anterior que puede ser instalado en las sillas de ruedas manuales.

Permite al usuario un aumento del 30% de la velocidad y una reducción del consumo de la energía en comparación con un movimiento de empuje tradicional. Su funcionamiento es similar al de la silla Wijit. Según la publicidad de este producto, proporciona un buen entrenamiento cardiovascular para el usuario a la vez que mantiene las manos del usuario limpias.

Precio estimado: entre 2.500 y 3.200 €

2.2. Pliego de Condiciones de Marketing (PCM)

A continuación, en acorde al criterio de R. Tassinari, se establecen tres objetivos principales para la elaboración del pliego de condiciones de marketing.

El primer objetivo es **explicar el acto de compra**, es decir, las motivaciones del consumidor. Hay que tener en cuenta que existen diversos compradores, cada uno en una situación distinta a la de los otros. Cada uno de ellos buscará unas características concretas, por lo que se debe pensar en todas las motivaciones de compra posibles.

El segundo es **definir la venta del producto**. Los puntos de venta, así como los medios empleados para su distribución influirán en la forma de embalar y preparar el producto, en algunas de las opciones que ofrecerá y es posible que incluso en la cadena de producción a causa de las opciones de personalización del producto que se puedan llegar a ofrecer.

Y el tercer objetivo será **evaluar la cantidad de producto** que será vendido. Hay que prestar atención a esto para saber de qué modo se fabricará y qué maquinaria se empleará para tal fin, de forma que nos salga rentable. Dependiendo de la maquinaria que se pueda disponer se diseñará el producto de un modo u otro, pero para ello debemos saber si la cantidad a fabricar es lo suficientemente grande para amortizar el coste de su fabricación.

Definiendo bien estos objetivos se podrán especificar las funciones principales y secundarias que el producto deberá cumplir. A continuación, abordaremos uno por uno cada uno de estos objetivos, tomando, en gran parte, los datos obtenidos en el estudio de mercado.

- **Motivaciones del consumidor:**

- Una de las motivaciones más importante de compra será la capacidad de la silla para transportar personas correctamente, es decir, si está adaptada para que alguien se siente y pueda ser conducida. El producto deberá cumplir, por encima de todo, la **función principal** para la que ha sido diseñado.
- La **facilidad de manejo** de la silla de ruedas se tendrá en cuenta a la hora de la compra. Las ruedas, los ejes, el pasamanos y demás elementos que permiten el movimiento deben estar en las condiciones óptimas para que la conducción sea lo menos laboriosa y lo más eficaz posible. Para ello, el consumidor también tendrá en cuenta el peso del producto.
- El producto debe ser lo más **ligero** posible. Las personas que van a comprar una silla tienen muy en cuenta su peso, ya que de él dependerá el esfuerzo que debe hacer el usuario para el manejo de la silla, pues debe mover su peso y el de la silla. Aligerando la estructura de la silla también facilitamos que se pueda levantar fácilmente para subir escaleras o para subirla a un coche.
- La persona que use la silla, va a permanecer sentado en ella durante períodos de tiempo prolongados, por lo que debemos prestar especial atención a la **comodidad**, ya sea diseñando sus elementos (asiento, respaldo, reposabrazos, reposapiés...) con la textura y suavidad adecuados o permitiendo al usuario el cambio de postura con diferentes posiciones.
- El **volumen** es uno de los problemas que casi siempre afronta una persona en silla de ruedas. Este aparato debe ser lo suficientemente grande para que quepa la persona sentada y lo suficientemente pequeño para que quepa por las puertas y para que su maniobrabilidad sea fácil.
- La silla deberá ser **resistente y duradera**, ya que se usa de continuo y va a estar sometida a múltiples esfuerzos, mecánicos, de corrosión, etc. Además, al tratarse de un producto caro, el comprador se negará a elegirlo si no hay garantía de que dure la mayor cantidad de años posible con un deterioro mínimo.
- La **versatilidad** es otra de las motivaciones que impulsan a la compra del producto. Siempre será mejor que se reúnan en un mismo producto una amplia variedad de funciones útiles y características favorables. Si un producto puede realizar muchas cosas y presenta cada una de las ventajas que distinguen a otros productos, estará por encima de la competencia y en el punto de mira del comprador.
- Con relación a su **mantenimiento**, se valorará considerablemente que el recambio de piezas salga rentable. Es decir, que las piezas que requieran cambiarse no se traten de elementos difíciles de encontrar ni muy caros, sino que en cualquier tienda puedas adquirir por un buen precio ese elemento que hace falta en la silla.

- El **precio** es un factor muy a tener en cuenta, no solo en este producto, sino en todos. Evidentemente, el cliente buscará en relación a lo que se pueda permitir y preferirá aquello que más rentable le salga económicamente. No obstante, también desea que el producto sea de calidad porque se trata de una adquisición importante, así que no depositará mucha confianza en lo excesiva y sospechosamente barato. Se juega bastante y no le importará del todo el precio si se trata de una silla que le garantice confort. El coste del producto deberá ser económico en relación a su calidad, pero no necesariamente barato.
- Cada **innovación tecnológica** que presente la silla y que permita alguna acción nueva será siempre bien recibida. Si el cliente ve que la silla dispone de un dispositivo que le permita alcanzar cosas a gran altura, subir escaleras o realizar cualquier otra acción que no se pueda realizar con otras sillas de ruedas, la tendrá dentro del ranking de su decisión de compra.
- La misma **estética** de la silla tiene que ser agradable a la vista. De esta forma, el propietario tendrá la tranquilidad de que la silla que siempre le acompaña, casi a modo de vestimenta, puesto que la gente le verá con ella, goza de un diseño atractivo.
- Otro detalle que valorará el cliente es lo respetuoso que es con el **medio ambiente**, tanto el producto, como sus materiales, como su fabricación. Al cliente le atraerá más si ve que la empresa está comprometida con el medio ambiente.

- **Venta del producto:**

El producto se distribuirá a las tiendas de ortopedia especializadas en esta serie de productos. También se intentará distribuir un gran número de unidades por hospitales o residencias, por tratarse de un cliente potencial, aunque la compra se realice por medio de subvenciones.

A través de la página web oficial de nuestra empresa, el cliente que lo prefiera podrá efectuar la compra por medio de un servicio de venta por internet. También el producto estará disponible en otras páginas especializadas en la venta de productos de ortopedia.

Nuestra empresa, también, se ofrecerá como distribuidora de medios para las asociaciones para discapacitados, estableciendo un vínculo con éstas de forma que promocionen el producto, ofreciéndoles descuentos en otros productos que necesiten para su labor o, simplemente, donándoselos.

El producto estará disponible en su versión más básica, siendo el resto de accesorios complementos que se venden aparte. Esto es debido a las diferentes necesidades que presenta cada comprador por lo que es mejor vender el producto con lo básico dando opción a personalizarlo con lo que se desee, amoldándolo al gusto del cliente.

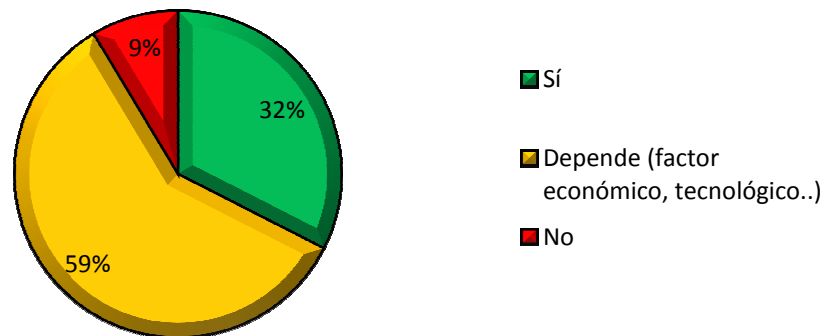
Se intentará que su precio en el mercado sea inferior al de la competencia, sin embargo, siempre dependerá del coste del material y de su fabricación. Se pretenderá que

el precio esté comprendido en un intervalo relativamente pequeño, teniendo como promedio el estándar de la competencia.

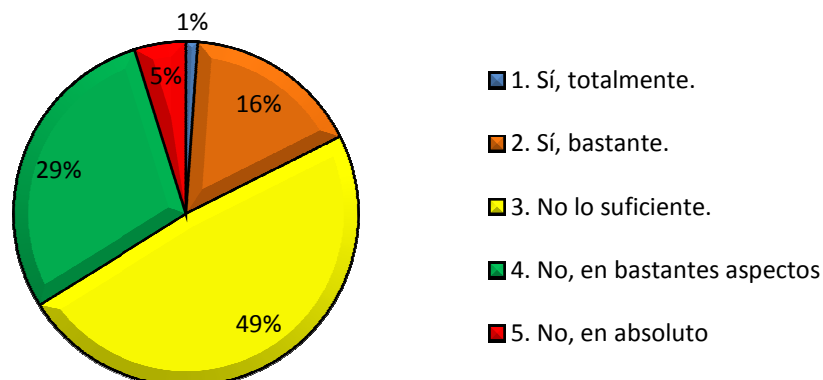
- **Estimación de la cantidad de producto vendido:**

Se han realizado una serie de encuestas por internet, en centros de salud y en asociaciones para discapacitados. Los resultados obtenidos se reflejan en estas gráficas.

¿Cambiaría su silla de ruedas por otra más innovadora?



¿Está Vd satisfecho con el funcionamiento de su silla de ruedas?



De acuerdo a lo mostrado en la primera gráfica, podemos apreciar que nuestro producto tendría muchas posibilidades de ser aceptado por los consumidores. Dado que una silla de ruedas resulta ser una compra importante, sólo un 32% de los encuestados cambiaría su silla con total seguridad, quedando un 59% que cambiaría su silla si su economía se lo permite y si la nueva adquisición realmente merece la pena por las prestaciones que les ofrece.

Teniendo en cuenta la crisis, estimamos que ese porcentaje de gente que contestó “depende” se reduciría, siendo pesimistas, hasta un 35%.

De este modo, tenemos un 65% de posibilidades de que la gente opte por la compra de nuestra silla, siempre y cuando ofrezca buenas prestaciones.

La segunda gráfica que responde a la pregunta “**¿Está Vd satisfecho con el funcionamiento de su silla de ruedas?**”, nos va a ser de utilidad de dos maneras. Una manera de sacarle partido es ver cómo satisface la competencia a la población que emplea sus artículos, para analizar en qué aspectos se puede superar a la competencia en el diseño.

Esta gráfica, también, nos sirve como forma indirecta de estimar el porcentaje de gente que estaría dispuesta a adquirir lo que ofrecemos.

Además, nos ayudará a darle mayor exactitud a los resultados de la primera gráfica.

Las respuestas de la segunda pregunta se interpretan de la siguiente manera:

- “Sí, totalmente”: la satisfacción del usuario hacia su silla está entre el 90-100%. Es muy difícil que la reemplace por otra. Existe una posibilidad de un 10% de que esto suceda. **Probabilidad de Aceptación del Producto en la Población Encuestada (PAPPE): 0,11%.**
- “Sí, bastante”: la persona no cambiará su silla a menos que salga una mucho mejor al mercado. Las probabilidades de que nuestro producto sea acogido por este sector será de un 25%. **PAPPE: 4,125%.**
- “No lo suficiente”: la silla que posee este sector no les aporta tanto como ellos tenían pensado en un principio. Las posibilidades de que se decanten por otra será de un 50%. **PAPPE: 24,25 %.**
- “No, en bastantes aspectos”: la silla que poseen no satisface gran número de sus necesidades por lo que un modelo más innovador podría llamarles la atención. Las posibilidades de que eso ocurran son del 75%. **PAPPE: 21,825%**
- “No, en absoluto”: la silla que tienen no les satisface en nada, la cambiarían por otra sin dudar, salvo que no se la puedan permitir. Existe más de un 90% de posibilidades de que compren nuestro producto. **PAPPE: 4,32%**

Sumando todas las probabilidades de aceptación del producto en la población encuestada, tenemos que, aproximadamente, un **54,63%** de los encuestados son clientes potenciales.

En conclusión, si sale a la venta nuestra silla, entre los encuestados existe entre un 54 y un 66% de posibles clientes.

El número de casos en España de paraplejía, esclerosis y/o deficiencia en las extremidades inferiores es:

Extremidades inferiores: 642.500

El tipo de deficiencia en las extremidades inferiores puede ser de muchos tipos, por lo que el número de personas que emplean sillas de ruedas será menor, de un 30% de los casos.

Paraplejía: 26.300

Damos por supuesto que la mayoría de las personas que sufren de paraplejía emplean sillas estándares.

Esclerosis: 40.000

Un 38% de las personas que sufren esclerosis hacen uso de las sillas estándares.

Tenemos un total de 234.250 personas en España con discapacidad que emplean, como ayuda técnica, una silla similar a la que pretendemos vender.

Si aplicamos el porcentaje anterior esta cantidad, obtendremos una estimación de posibles compradores de nuestro producto en España.

Tenemos que, en España, entre 127.970 y 154.605 personas estarían dispuestas a comprar nuestro producto.

- **Normativa:**

Para nuestro diseño, tendremos que cumplir una serie de normativas concreta, que va enfocada hacia este tipo de diseños.

- ISO-7176
Wheelchairs
- UNE 111914-11:1995
Sillas de ruedas. Parte 11: maniqués de ensayo.
- UNE 111914-13:1995
Sillas de ruedas. Parte 13: determinación del coeficiente de fricción de las superficies de ensayo.
- UNE 111915:1991
Sillas de ruedas. Dimensiones totales máximas.
- UNE-EN 12183:2010
Sillas de ruedas de propulsión manual. Requisitos y métodos de ensayo.
- CTE SU 1-9
Seguridad y accesibilidad

2.3. Ficha de Programa

La ficha de programa que tendremos a continuación contendrá (según el criterio de R.Tassinari):

- *La lista de las funciones principales extraídas del PCM*

- Permitir el desplazamiento del usuario manualmente de forma activa, realizando con los brazos el giro de las ruedas, y pasiva, por medio de una segunda persona que impulse la silla por detrás.
- Debe ser confortable para evitar lesiones en el usuario, así como para aportarle bienestar.
- Ser resistente y soportar el peso del que la usa, además de soportar los golpes y los esfuerzos a los que se va a someter durante su uso.
- Debe disponer de una prestación que beneficie al usuario en salud y/o aumente el rendimiento de la silla para ahorrarle esfuerzo a éste.
- Cumplir con la norma vigente.

- *El objetivo de nivel de calidad*

La imagen de solidaridad que pretende reflejar nuestra empresa nos impide ceñirnos sólo a un mercado de alta gama. Nuestro objetivo es ayudar a personas que lo necesitan y abarcar gran parte de la población. Tendremos que hacer posible que el producto se encuentre al alcance económico de mucha gente, por lo que ofreceremos las prestaciones necesarias sin recurrir a tecnologías excesivamente caras para que el precio de venta sea asequible. Así, enfocaremos el producto especialmente al mercado de media y baja gama.

- *Las grandes opciones estratégicas elegidas*

La principal meta de la empresa es aportar a la sociedad productos de gran utilidad que mejoren el bienestar general, y dar sentido a la ingeniería como pieza clave del progreso.

Para ello, será necesario crecer como empresa. El beneficio obtenido se descompondrá en el sueldo de todas aquellas personas que hayan trabajado en sus proyectos, en nuevas inversiones, tanto en recursos como en investigaciones, y en proyectos de solidaridad.

El respeto hacia la imagen de marca de la empresa es crucial. Se debe dar una imagen de empresa seria y esperanzadora, pero más importante es serlo, puesto que el consumidor es el motor de la economía y disponer de su plena confianza es un privilegio. Por ello, nuestra mayor estrategia será la acción encaminada hacia ese ideal, puesto que así contaremos con la fidelidad y el apoyo del consumidor.

Ofreceremos un producto que seguirá la línea definida por los de la competencia, en las características más optimizadas. Sin embargo, buscaremos el modo de añadir un rasgo que

permita mejorar la calidad de vida del comprador o, en su defecto, le prevenga de algunos riesgos.

- *Los objetivos de las prestaciones*

En una silla de ruedas, factores tales como el peso, el volumen, la rigidez, los materiales, entre otros, influyen considerablemente en su funcionamiento.

Especialmente, el peso es uno de los que más influyen. El operario deberá impulsarse con su propia fuerza, lo que requerirá que la silla sea ligera para realizar los movimientos con comodidad. No obstante, excedernos en la ligereza significa sacrificar características de la silla indispensable. De esta forma, la restricción en el peso se establecerá respetando otras cualidades de importancia de la silla.

El volumen también es muy importante tenerlo en cuenta. Una silla voluminosa se verá más limitada en cuanto a accesibilidad y maniobrabilidad. En el caso contrario, una silla de menores dimensiones comprometerá la comodidad del operario. Se debe jugar con los valores estándar y los valores del diseño de nuestra silla para encontrar un valor óptimo, ya que se prevé que nuestro producto tenga alguna especie de mecanismo extra que le otorgue una nueva prestación.

- *La lista de las invariantes*

La silla deberá tener una serie de componentes principales de los que jamás se debe prescindir:

- **Las ruedas.** Éstas tienen un diámetro establecido que define la altura de la silla, adecuada para que el usuario pueda acceder a ella sin problemas. Queremos que la posición de las ruedas y su tamaño permanezcan tal como se ven en otros productos de la competencia, porque se han fijado de un modo adaptado a la persona que hace uso de la silla.
- **El respaldo y los apoyos.** El confort del usuario es la prioridad. Estos elementos no sólo permanecerán intactos sino que también se intentarán mejorar, puesto que sin ellos la función de la silla desaparece.
- **Sistema de bloqueo.** Hablamos de un medio de transporte impulsado por una persona. No podemos permitir que hasta el esfuerzo en parado lo tenga que desarrollar dicha persona. Si se encuentra en un sitio con pendiente deberá disponer de un sistema que garantice que el vehículo se quede quieto.

- *El coste de fabricación deseado*

Aún es pronto para calcular un coste de fabricación, pero podemos hacer una estimación en función del precio de salida.

Supongamos que del precio de venta del producto, el 25% es dinero que va hacia los distribuidores y un 10% para promocionar el producto. Se debe intentar que el coste de fabricación no sea superior al 55%, para lograr un beneficio mínimo del 10% de las ventas.





CAPÍTULO 3: EL ANÁLISIS FUNCIONAL

CAPÍTULO 3: EL ANÁLISIS FUNCIONAL

3.1. Análisis funcional

Al llevar a cabo el estudio de mercado correspondiente al lanzamiento de un nuevo producto, es muy difícil ir más allá de la percepción de las funciones principales de uso. El análisis funcional debe ir mucho más lejos. Se trata en enumerar de forma exhaustiva las funciones a cumplir. Para ello será necesario comenzar recopilando la información existente. Habiendo revisado la ficha de programa, y en caso de necesidad el pliego de condiciones de marketing, se efectuará el censo de todas las informaciones necesarias para llevar a buen término el análisis funcional. Este se puede llevar a cabo en el marco de situaciones diferentes, para las cuales las informaciones necesarias no son las mismas:

- Un producto nuevo, el cual se empieza a estudiar.
- Un producto en vías de estudio en el momento de una revisión del proyecto.
- Un producto existente que se desea mejorar.

Con el fin de elaborar un pliego de condiciones funcional detallado, y evitar la omisión de funciones a cumplir por el producto en fase de diseño, se recurrirá a diversos métodos que ayudarán a realizar una identificación sistemática de los requerimientos. Además de esto facilitarán la jerarquización de los mismos, desembocando finalmente en la redacción de un pliego completo y ordenado que contribuya a la materialización de un diseño optimizado con posibilidades de éxito.

3.1.1. El método RED

El método Red nos va a servir para identificar las funciones que debe cumplir el producto de forma rápida y exhaustiva.

Para asegurar el éxito del método es aconsejable llevar a cabo las distintas fases del mismo en un orden determinado:

1. Búsqueda intuitiva.
2. Estudio del ciclo vital y del entorno
3. Análisis Secuencial de los Elementos Funcionales.
4. Examen de los movimientos y de las fuerzas.
5. Análisis de un producto de referencia
6. Uso de las normas de los reglamentos.

3.1.1.1. Búsqueda intuitiva

En esta fase se emplea la intuición para la obtención de ideas. Se buscarán funciones a partir de la documentación existente hasta el momento (PCM, Ficha de Programa) y de nuevas ideas que surjan. Se trata de un proceso creativo que se apoya en los conocimientos y la experiencia del ingeniero. Por ello es inevitable que la lista de funciones resultante sea incompleta, por lo que es necesario aplicar el resto de métodos. Para que este proceso sea lo más eficaz posible es conveniente respetar el siguiente plan de trabajo:

- **Relación de los objetivos:** examen de la ficha de programa o del PCM complementado por los objetivos definidos por la dirección de empresa.
- **Examen de la documentación:** examen de los documentos reunidos en una fase de información previa. Esto es indispensable para el estudio de un producto existente o en vías de definición.
- **Búsqueda de las funciones:** los participantes en la búsqueda intuitiva emiten su parecer y mencionan las funciones que les vienen a la memoria. Las funciones se anotan conforme surgen, sin ningún tipo de clasificación o jerarquización.
- **Crítica:** esta fase es complicado llevarla a cabo si la búsqueda intuitiva no se realiza en grupo. Consiste en poner en evidencia las insuficiencias, las redundancias o las funciones inútiles.
- **Formulación:** se trata de poner a punto la designación de las funciones mediante una formulación clara y precisa.
- **Definición de las características:** buscar para cada una de las funciones sus criterios, sus niveles y sus flexibilidades. Los coeficientes de importancia se determinarán posteriormente, cuando todas las fases del método RED estén terminadas.
- **Información del pliego de condiciones funcional:** se anotan las funciones con sus características según el orden de su identificación en una tabla de PCF.

Las funciones que han emergido de esta fase son las siguientes:

- Transportar a una persona con discapacidad en las piernas.
- Mejorar el rendimiento de la fuerza aplicada por el usuario.
- Ser totalmente confortable, para que el usuario que lo pueda usar de manera prolongada sin notar molestias.
- Poseer buena maniobrabilidad y fluidez de movimientos.
- Tener gran resistencia mecánica.
- Ser fácil de transportar.
- Ser lo más ligero posible.
- Ser poco voluminoso.
- Tener buena apariencia.
- Resistir la corrosión.

3.1.1.2. Estudio del Ciclo Vital y del Entorno

El ciclo vital comienza con la salida del producto de la cadena de fabricación, después del control de calidad y termina cuando el producto no cumple con sus funciones principales y debe desecharse. Este análisis pretende hallar funciones dirigidas a cada una de las fases de su ciclo vital.

Las fases del ciclo de vida del producto son las siguientes:

- Embalaje.
- Almacenado.
- Transporte.
- Almacenaje en la tienda.
- Exposición
- Compra.
- Desembalaje.
- Montaje.
- Utilización.
- Almacenaje en el hogar.
- Mantenimiento.
- Fin de vida.

El producto debe pasar por estas fases, por lo que se debe cuidar sus funciones para facilitar que se puedan llevar a cabo sin que el producto sufra cambios que afecten negativamente a su funcionamiento.

- Embalaje:
 - Debe proteger al producto hasta el momento en que este se disponga para su utilización. Los daños en el producto previos a su uso pueden ser motivo de devolución e insatisfacción por parte del usuario. Esta protección debe tener en cuenta que el producto será almacenado y transportado, lo que producirá unas solicitudes que debe afrontar principalmente el embalaje y no el producto.
 - Ser cómodo de mover y almacenar, por lo que no debe ser muy voluminoso. Esto repercutirá también en la facilidad de distribución.
- Transporte:
 - Resistir los golpes y vibraciones del transporte que no sean absorbidos por el embalaje.
- Almacenaje:
 - Debe resistir a los esfuerzos de amontonamiento en los almacenes.
 - Debe ocupar el mínimo espacio en la tienda para facilitar su almacenamiento.
- Exposición:
 - Debe llamar la atención del cliente, ya sea a través de una exposición directa del producto o un embalaje llamativo.
- Compra:
 - Disponer de garantía y soporte técnico.
- Desembalaje:
 - Disponer de un desembalaje cómodo y sencillo para evitar destruir el embase. Así, en caso de no estar satisfecho, el comprador podrá volver a introducir el producto en su embase y devolverlo.
 - Generar desperdicios mínimos y reciclables para mantener el compromiso con el medio ambiente.

- Montaje:
 - Disponer de un manual de montaje.
 - Elementos del producto fácilmente identificables.
 - Fácil de montar.
- Utilización:
 - Disponer de manual de instrucciones.
 - Fácil de usar
- Almacenaje en el hogar:
 - Tener capacidad de plegarse y/o ocupar poco espacio.
- Mantenimiento:
 - Fácil de limpiar
 - Disponer de piezas de recambio que se encuentren en cualquier tienda de ortopedia.
 - Tener gran resistencia para evitar reparaciones frecuentes.
- Fin de vida:
 - Poseer piezas reutilizables en otro producto de la empresa.
 - Ser de un material reciclable, en caso de no poderse reutilizar.

Aparte del ciclo vital, estudiamos el entorno en el cual se encontrará el producto a lo largo de su vida útil.

Hay que tener en cuenta que el producto es móvil y que existen múltiples lugares en los que se va a encontrar. Existen **entornos fijos**, como **la calle, terrenos no urbanos, edificios públicos, residencias y hogares** pero, a su vez, tendremos **entornos móviles**, ya sea un **autobús, un coche, el metro, un ascensor, unas escaleras mecánicas**, etc.

El territorio urbano, tanto la calle como interiores, así como los entornos móviles como los coches, ascensores y demás serán **entornos habituales**, por lo que el producto deberá estar totalmente adaptado en cuanto a funciones a estos entornos.

Los territorios no urbanos, como el campo, la playa u otros terrenos no pavimentados son el llamado **entorno ocasional**. Se tendrán también muy en cuenta las funciones que estos lugares exijan, pues de ello depende que el usuario pueda hacer una vida normal.

Entornos excepcionales, podrían ser el monte, bosques u otros lugares en los que ya su acceso supone cierta dificultad para una persona que pueda caminar. El producto no estará especializado al completo para moverse por estos lugares, pero se intentará que pueda funcionar en estas condiciones.

Los elementos que componen esta serie de entornos son los siguientes:

- Personas:
 - Las principales a tener en cuenta son los usuarios y las personas que puedan empujar la silla. Es fundamental tener en cuenta que el usuario tiene una discapacidad motriz en las piernas.
 - Todas las que entran en contacto con el producto desde su salida de fábrica hasta su llegada al consumidor: transportistas, mozos de almacén, y el vendedor o encargado del alquiler.
 - Los transeúntes que caminan por la calle y por los lugares públicos.
- Elementos físicos:
 - Elementos de interiores: escaleras, rampas, puertas, muebles...
 - Elementos naturales: árboles, charcos, piedras, barro
 - Elementos urbanos: edificios, señales, cabinas, pivotes, vallas, bocas de riego, suelo de rejilla, baldosas, pendientes, baches
 - Elementos del usuario: bolsas, mochilas o cualquier otro objeto que tenga un peso o volumen considerable.
- Elementos inmateriales:
 - Tendencias: actualmente se apuesta por todo aquello que sea ecológico y que respete el medio ambiente.
 - Normas: acordes al tipo de producto a los procesos de fabricación empleados.
 - Moda: los nuevos productos deben tener una apariencia que refleje que es un avance tecnológico, por lo que casi siempre tienen cierta estética futurista.
- Ambiente:
 - Temperatura: el equipo debe estar preparado para funcionar en condiciones de temperatura muy diversas, aunque debido a las limitaciones de la persona que lo va a usar rara vez se empleará bajo condiciones extremas.
 - Humedad: dado que es un producto pensado para su uso al aire libre debe resistir bien la humedad.
 - Brisa Marina: es altamente probable que este equipo se emplee en entornos cercanos al mar, por lo que habrá que tenerlo en cuenta de cara a los efectos perjudiciales de la humedad, el salitre y la arena.
 - Bacterias: habrá que prestar atención a que no acumule especialmente la suciedad y sea fácil de limpiar.
 - Hielo: este agente dificultará el uso del equipo. Las placas de hielo sobre el suelo o la calzada son peligrosas para transeúntes y vehículos, como medida, por lo general, se suele extremar precaución.
 - Vibraciones: el dispositivo se verá sometido a vibraciones constantes y de diferente grado, que debe resistir sin problemas.

Una vez establecidos los elementos que van a componer el entorno del producto, definiremos el marco del proyecto con la determinación de los límites del entorno con el fin de buscar las funciones que derivarán de la interacción entre el objeto de diseño y lo que le rodea.

Tratándose de una silla de ruedas, el entorno es reducido pero variado, es decir, se trata de un producto móvil por lo que cambia de entorno constantemente, pero no se trata de un objeto que abarque demasiado espacio, ni genera ruidos, residuos u otros elementos que perjudiquen más allá del espacio que ocupa.

De todas formas, aunque su entorno sea reducido, el producto se debe adaptar a los elementos de éste. Para determinar sus funciones, es recomendable actuar en dos tiempos:

1. Buscar las funciones de adaptación del producto a un elemento y viceversa.
2. Buscar las funciones resultantes de la interacción de dos o más elementos a través del producto.

Funciones de adaptación e interacción:

- Temperatura:
 - Resistir las temperaturas de climatología muy diversa.
 - Resistir los cambios de temperatura.
- Polvo, arena, líquidos, productos, brisa marina:
 - Resistir el ataque de estos elementos sin deteriorarse notablemente.
 - Ser fácil de limpiar.
- Elementos sueltos:
 - Sortear los objetos que encuentre sueltos por el terreno sin problemas.
- Terreno:
 - Adaptarse sin dificultades a distintos tipos de terreno que no tiene por qué estar preparado.
 - No manchar o deteriorar el suelo por el que circula.
- Mobiliario y personas:
 - Resistir los golpes que pueda tener durante su conducción.
 - Garantizar la seguridad de quien lo usa en caso de choque.
 - Dañar lo menos posible los objetos o personas que golpea por accidente.
 - No tener elementos afilados o cortantes que produzcan heridas al establecer contacto con el equipo o al rozar con él por accidente.
 - Hacer que la goma de las ruedas no entre en contacto con la persona que la usa, para evitar que le provoque quemaduras por rozamiento o enganche sus prendas o miembros corporales cuando está en movimiento.
 - Obstaculizar lo menos posible.
 - Tener un manejo rápido y sencillo para esquivar obstáculos o apartarse si supone uno.

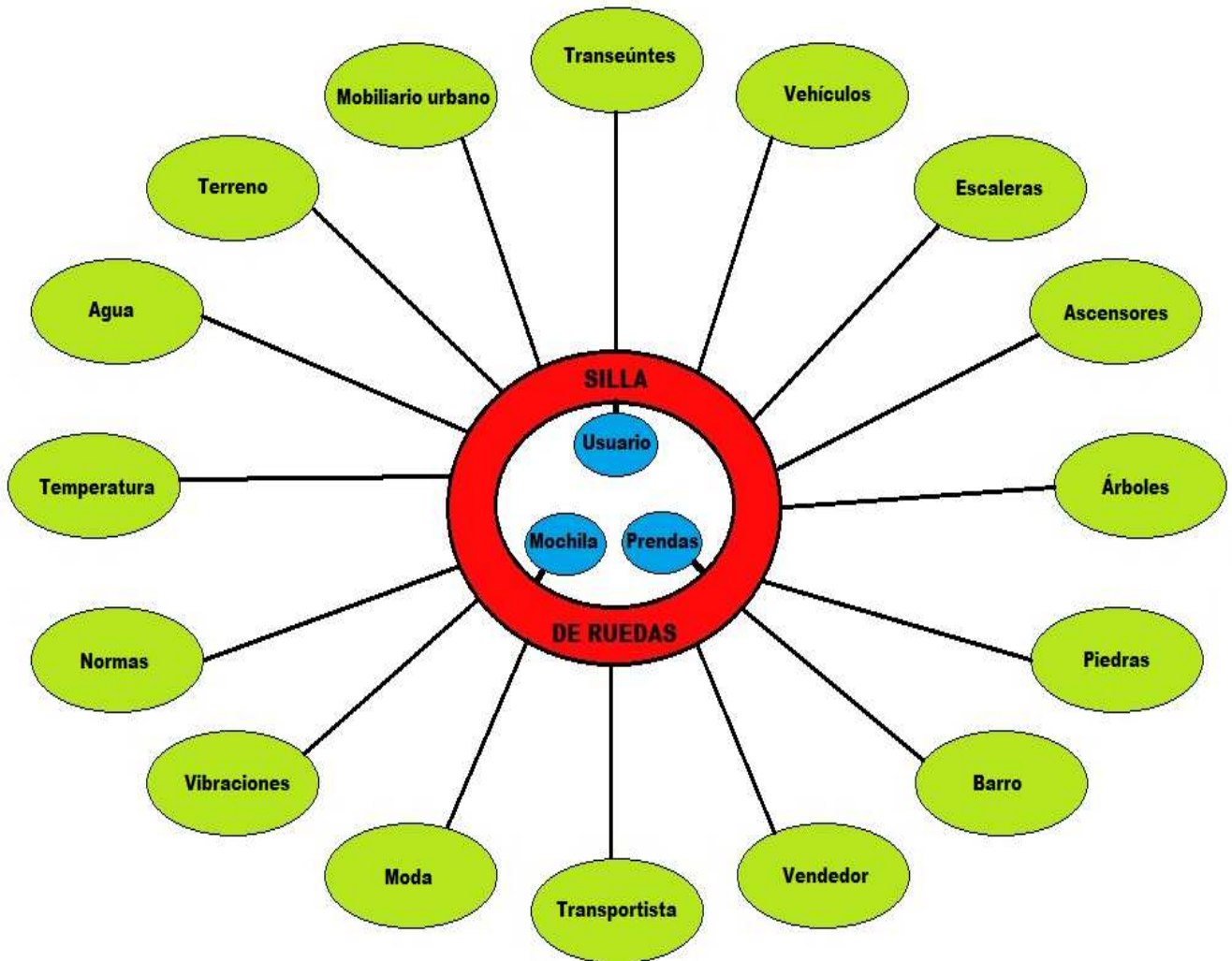
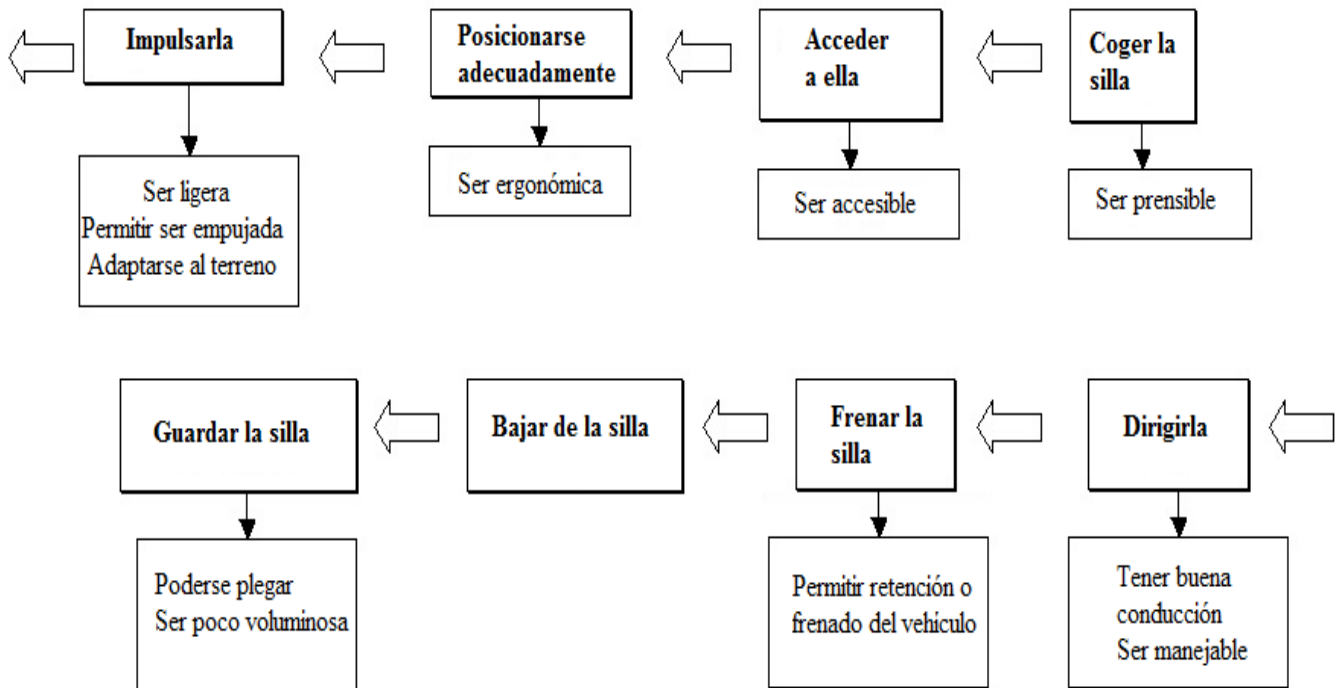


Gráfico de los elementos internos y externos

3.1.1.3. Análisis Secuencial de los Elementos Funcionales

Al igual que la anterior fase del método RED, este análisis se basa en el ciclo vital del producto. La principal diferencia es que ahora cobran importancia las secuencias de uso del producto. Se realizará un gráfico de las mismas en su orden lógico. Para evitar confusiones hay que decir que el gráfico está trazado de derecha a izquierda, para preparar una de las fases posteriores del análisis funcional.



3.1.1.4. Examen de los Movimientos y de las Fuerzas

A continuación, analizaremos los diferentes tipos de esfuerzos a los que estará sometido el equipo y los movimientos de éste durante su uso para concretar las características mecánicas apropiadas para su diseño y sus funciones técnicas. La resistencia mecánica de un producto es un factor importante de su capacidad para el empleo y de su fiabilidad.

El movimiento que realiza el sistema entero es, por lo general, **longitudinal**. El usuario se impulsa hacia delante y hacia atrás, además del giro que debe efectuar para el cambio de dirección.

Los componentes clave que permiten este movimiento son las ruedas. El **movimiento circular** de éstas son las que posibilitan el desplazamiento.

Existen dos formas de generar el movimiento. La primera es el mismo usuario, que podría considerarse como un elemento externo que efectúa el movimiento introduciéndose en el sistema y moviendo directamente las ruedas. La otra forma sería a través de una segunda persona que aplica la fuerza desde fuera del sistema a todo el conjunto, no al elemento motriz.

La amplitud y duración secuencial de este movimiento son realmente elevadas. La silla ha de recorrer tanta distancia como un ser humano camina a lo largo de 15 años, durante secuencias de duración aleatoria. Es un factor impredecible, por lo que debemos preparar el producto para que el desgaste del producto no incremente en gran medida debido a la distancia recorrida, es decir, debemos hacer un producto duradero si se emplea en condiciones normales.

El esfuerzo habitual que ha de soportar el equipo será el peso de una persona. Lo fijaremos en unos 110 kg para abarcar también a las personas con sobrepeso.

Ocasionalmente, tendrá que soportar el peso de cualquier objeto que pueda llevar en sus manos o entre las piernas la persona que use la silla.

De esta forma, el peso total a soportar, sumando las cargas habituales, ocasionales y excepcionales, estará alrededor de los 130 kg.

La silla ha de soportar, por tanto, esfuerzos a tracción, compresión e incluso los esfuerzos cortantes.

Otro esfuerzo a tener en cuenta es el del mecanismo especial a diseñar. Como hemos visto en productos de la competencia, el movimiento de remo es un continuo ciclo de empujar y tirar. De esta forma, se intuye que el mecanismo ha de ser diseñado con gran resistencia a la fatiga.

Con estos datos, las funciones técnicas que obtenemos son:

- Disponer de un giro de ruedas suave para que el usuario no tenga que aplicar más fuerza de la necesaria.
- Tener una resistencia tal que la vida del producto sea prolongada.
- Soportar el peso de una persona, además de la posible carga que pueda llevar consigo.

3.1.1.5. Análisis de un Producto de la Competencia

El producto más extendido en el mercado de las sillas de ruedas es la silla de ruedas manual estándar.

Cumple una serie de funciones básicas, como son la propulsión manual a través de las ruedas, las condiciones ergonómicas para garantizar (prácticamente en su totalidad) la comodidad del usuario, entre otras muchas otras. Se trata de un medio de transporte que no alcanza grandes velocidades por lo que carece de dispositivos de seguridad sofisticados.

Como ya se ha citado anteriormente, la variedad de sillas es gigantesca debido a que cada comprador busca una serie de requisitos en función de su estado. Por ejemplo, la anchura de la silla varía dependiendo de que su uso habitual sea la calle o un hogar.

Dando por hecho que el funcionamiento de la silla es correcto en cuanto a su movilidad, la característica que prevalece en la toma de decisiones, aparte del precio, es la ligereza. Contra más ligera sea la silla con mayor facilidad y menor esfuerzo se podrá utilizar.

Es por esto que la gran mayoría de sillas manuales no lleven consigo demasiados mecanismos para no incrementar su peso. Sólo se limitan a cumplir las funciones básicas.

En conclusión, cualquier nueva función que se introduzca en el diseño de la silla puede afectar a su peso. Por lo que tendremos que tener cuidado de no excedernos.

No obstante, las funciones que nos diferencien de la competencia podrían dar lugar a un producto exitoso.

3.1.1.6. Uso de las Normas y Reglamentos

Nos queda un último paso para completar el método RED y realizar una búsqueda completa de las funciones a cumplir por el producto. Parte de las funciones a cumplir por la silla pueden venir impuestas por la normativa que atañe a este tipo de producto o a los procesos de fabricación que se puede prever que serán empleados. Las normas conciernen a todas las empresas preocupadas por el control del diseño de sus productos. En el plano de la calidad contribuyen a aportar información útil y a facilitar la prueba de esta calidad, tanto dentro de la empresa como frente a sus clientes.

En este proceso de diseño deberemos tener presentes las siguientes normas:

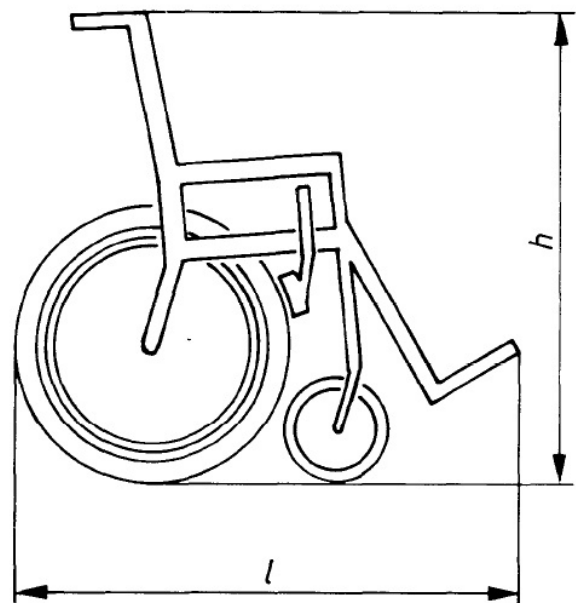
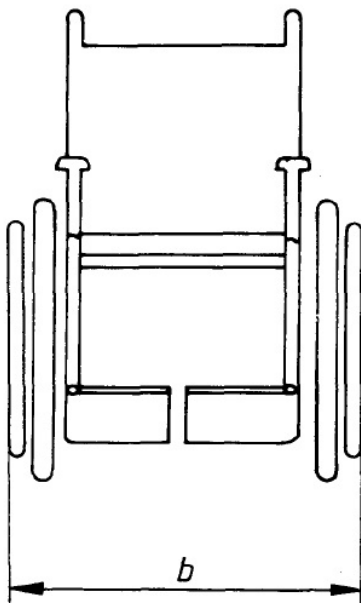
- **ISO-7176: Wheelchairs**
- **UNE 111915:1991: Sillas de ruedas. Dimensiones totales máximas.**
- **UNE-EN 12183:2010: Sillas de ruedas de propulsión manual. Requisitos y métodos de ensayo.**

Según la norma **UNE 111915:1991** las dimensiones totales máximas de la silla no pueden superar los siguientes valores:

Longitud, l: 1200mm

Anchura, b: 700mm

Altura, h: 1090mm



Según la norma **UNE-EN 12183:2010**:

- “Se debe prevenir el atrapamiento de partes del cuerpo”
- “La fuerza de empuje requerida para arrancar y mantener el movimiento de la silla de ruedas cargada, a velocidad constante sobre una superficie horizontal, **no debe exceder de 40 N.**”

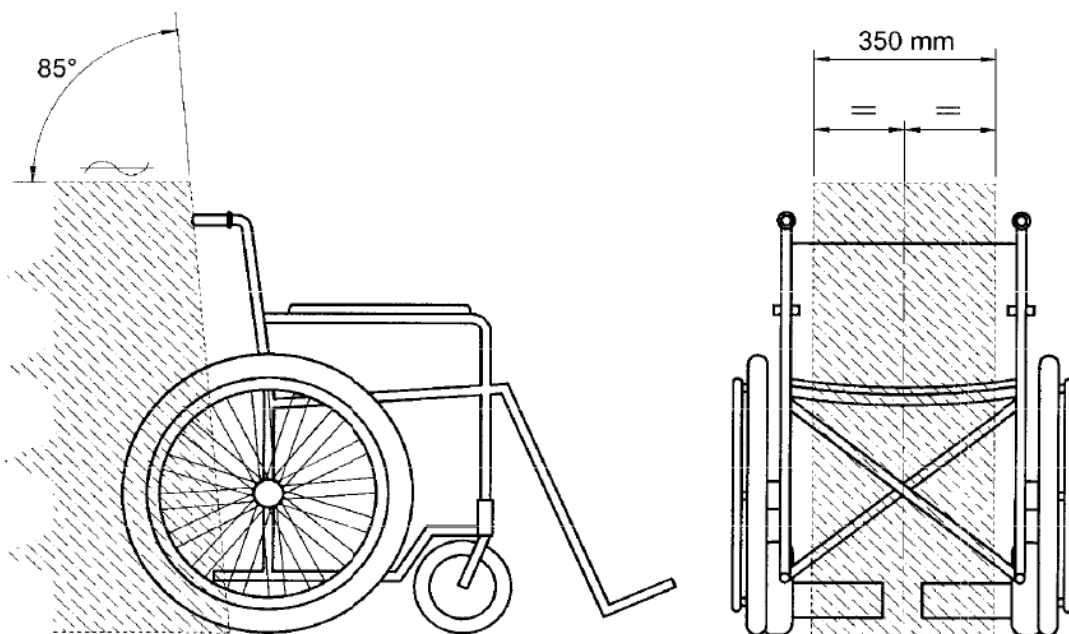
-“Debe estar equipada con reposapiés que dispongan de un medio para **posicionar los pies del ocupante a la altura requerida** (con intervalos que no excedan los 25mm), que impida que los pies se deslicen hacia atrás y que se fije de forma segura. La separación entre ellos no debe exceder de 35 mm (para un adulto) o 25 mm (para un niño).”

-“El reposapiés ha de ser operable sin el empleo de herramientas, estar accesible y ser accionable por el ocupante o el acompañante.”

- “Si la silla dispone de ruedas neumáticas, éstas deben tener el mismo tipo de válvula de llenado. Las ruedas deben llevar marcada la presión máxima de inflado expresada en kPa o en bar.”

-“Las empuñaduras de maniobra deben estar separadas por una distancia mayor a los 350mm, tener una longitud mayor a las 75mm y un diámetro entre los 20 y 50mm.”

-“Ninguna parte de la silla ha de quedar dentro de un espacio posterior de la misma, acotado por un plano que forme 85° con la horizontalque toque los puntos más posteriores de las empuñaduras de empuje.”



-“La silla ha de estar provista de dispositivos antivuelvo si su estabilidad estática es menor a los 10°.”

-“El diámetro de giro tiene como valor máximo los 1000mm.”

A continuación, añadiremos algunas recomendaciones de diseño plasmadas en la norma **UNE-EN 12183:2010**:

-“Todos los tornillos, fiadores, y accesorios similares deberían ser de medidas métricas, como se especifica en la Norma ISO 68-1:1998. Para el funcionamiento y mantenimiento de la silla de ruedas se debería requerir un mínimo de herramientas.”

- “Las sillas de ruedas deberían estar equipadas con neumáticos que no dejen marcas en los suelos interiores.”
- “Cuando la silla de ruedas esté equipada con ruedas neumáticas, con ella se debería suministrar un dispositivo adecuado para inflar los neumáticos.”
- “Cuando se seleccionen los materiales que entran en contacto directo con el ocupante, por ejemplo, los aros de impulsión o las partes tapizadas, se deberían tener en cuenta las propiedades térmicas de los mismos a fin de evitar temperaturas superficiales excesivas cuando se expongan a fuentes exteriores de calor.”
- “Cuando se seleccionen materiales que puedan entrar en contacto con la orina (por ejemplo, partes tapizadas), se debería tener en cuenta la resistencia a la contaminación y los métodos de limpieza y de descontaminación de los mismos, a fin de evitar que se produzcan condiciones no higiénicas, olores y la degradación de los materiales.”
- “Si la silla de ruedas dispone de empuñaduras de empuje, la altura de éstas debería estar comprendida entre 900 mm y 1.200 mm.”
- “La holgura sobre el suelo, medida según el método especificado en la Norma ISO 7176-5:2008, no debería ser inferior al valor especificado de 30mm. Esta recomendación no es aplicable a las sillas de ruedas diseñadas para fines especiales que sean incompatibles con esta recomendación, por ejemplo, sillas de ruedas para ponerse en pie y sillas de ruedas cuyo asiento baje hasta el nivel del suelo.”
- “El ángulo del asiento, medido según se especifica en la Norma ISO 7176-7:1998, debería estar comprendido entre + 4° y + 14°.”
- “El ángulo entre el plano del respaldo y el plano del asiento debería estar comprendido entre 90° y 100° cuando no sea regulable. Si el ángulo es regulable, la gama de regulación debería ser de 15° como mínimo.”
- “En las sillas previstas para adultos, la profundidad del asiento debería estar comprendida entre 305 mm y 565 mm, cuando se mida como se especifica en la Norma ISO 7176-7:1998.”
- “En las sillas previstas para adultos, la anchura efectiva del asiento debería estar comprendida entre 320 mm y 610 mm, cuando se mida como se especifica en la Norma ISO 7176-7:1998.”
- “En las sillas de ruedas previstas para adultos, la altura del reposabrazos debería estar comprendida entre 155 mm y 325 mm, cuando se mida como se especifica en la Norma ISO 7176-7:1998.”
- “En las sillas de ruedas previstas para adultos, la altura del reposabrazos debería estar comprendida entre 155 mm y 325 mm, cuando se mida como se especifica en la Norma ISO 7176-7:1998.”

Según el **CTE**, las rampas de uso no restringido se rigen por éstos valores:

USUARIOS	PENDIENTE MÁXIMA	LONGITUD MÁXIMA	ANCHO MÍNIMO
VEHÍCULOS + PEATONES (NO DISCAPACITADOS) (zona peatonal diferenciada y protegida)	16%	Sin límite	0,80
PEATONES (NO DISCAPACITADOS)	12%	15 m	1,00
USUARIOS EN SILLA DE RUEDAS	10%	<3 m	1,20
	8%	<6 m	1,20
	6%	9 m	1,20

Sin embargo, según la **Ley 8/97 y D.35/00** que se refiere al código de accesibilidad aporta estos valores:

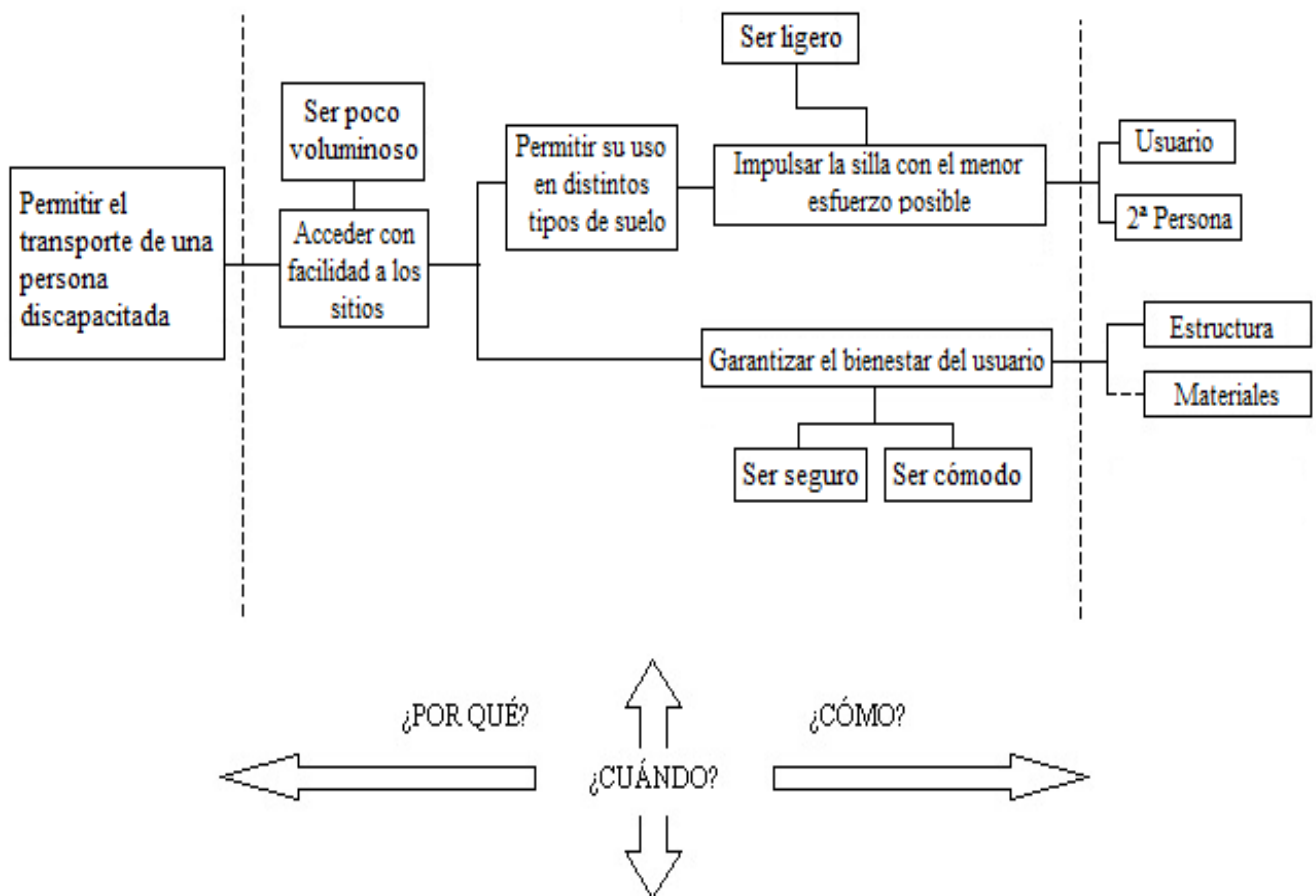
CONDICIONES EN EDIFICIOS DE USO PÚBLICO Y ESPACIOS EXTERIORES	PENDIENTE MÁXIMA	LONGITUD MÁXIMA	ANCHO MÍNIMO
ITINERARIO ADAPTADO	10% (12%) ²	< 3 m	1,50
	8% (10%) ²	< 10 m	1,50
	6% (8%) ²	≤ 20 m	1,50
ITINERARIO PRACTICABLE	12% (14%) ²	< 3 m	1,20
	10% (12%) ²	< 10 m	1,20
	8% (10%) ²	≤ 25 m	1,20

A la vista de estos datos y con el fin de hallar un valor para la estabilidad de la silla, presta-mos mayor atención al valor de la pendiente máxima. Definiremos el ángulo hasta el cual se puede inclinar la silla sin que vuelque con la mayor pendiente que el usuario podría encontrarse en su entorno urbano para así garantizar un desplazamiento sin peligro.

Así pues, tenemos que asegurarnos de que la silla posea una estabilidad de entre el 12 y 14% de inclinación.

3.1.2. El método FAST (Functional Analysis System Technique)

El método FAST consiste en identificar las funciones que se aplican al conjunto del producto y relacionarlas. Las funciones conocidas como generales se obviarán en el método para que no resulte excesivo. Como resultado se obtendrá un gráfico que ayudará a ordenar las funciones identificadas, averiguar la lógica funcional, controlar la exhaustividad del análisis funcional y prefigurar el producto por medio de su lógica funcional, y además servirá de soporte a la búsqueda de soluciones. A continuación se puede observar el gráfico obtenido para la silla.



3.2. El Pliego de Condiciones Funcional

El PCF es la expresión funcional de la necesidad. Expresa la necesidad en términos de resultado sin aludir a las soluciones, con el fin de dejar una gran libertad a los diseñadores, cuyo trabajo consiste precisamente en encontrar las soluciones necesarias para la obtención de la mejor relación calidad / coste. Todos los pasos seguidos en el análisis funcional desembocan en este pliego. En él aparecen las funciones clasificadas en distintas categorías según su importancia para facilitar el uso del PCF. Además dentro de cada una de las categorías estarán ordenadas y su nivel de repercusión valorado.

3.2.1. Funciones Principales de Servicio

Nº	DESIGNACIÓN	K	CRITERIO	NIVEL	FLEXIBILIDAD
1	Transportar a una persona discapacitada	5	Confort Distancia		
2	Soportar bastante peso	4	Material Estructura	130 Kg	+10 -20
3	Ser ligero	4	Peso	20 Kg	+0 -10
4	Ser plegable	2	Estructura Dispositivos		
5	Ser poco voluminoso	4	Forma Dimensiones	Altura: 0,9m Anchura: 0,7m Longitud: 1,2m	+0% -10%
6	Ser fiable	3	Vida útil	10 años	
7	Permitir ser empujado por una segunda persona	4	Forma Dispositivos Fuerza	Distancia empuñ. >350mm <70N (empuje)	
8	Ser prensil	2	Forma ergonómica		
9	Ser ergonómico	4	Confort Reglajes		
10	Realizar ejercicios fisioterapéuticos	2	Dispositivos		
11	Permitir bascular la posición del usuario	3	Dispositivos Estructura		
12	Ser manejable	3	Dirección Forma Peso Fuerza	<20 Kg <5N/s (inicio) <45N(Aros de propulsión)	+0, -10 (kg)
13	Ser accesible	3	Altura asiento Estructura		
14	Tener buena conducción	4	Dirección Transmisión Amortiguación Fuerza	<60N (Aros de prop. en giros)	
15	Tener dispositivos antivuelco	2	Estructura Peso Dispositivos		

3.2.2. Funciones Complementarias de Servicio

Nº	DESIGNACIÓN	K	CRITERIO	NIVEL	FLEXIBILIDAD
16	Poderse plegar/desplegar y/o montar/desmontar	2	Estructura Dispositivos		
17	Ser cómodo para el usuario: - No producir escaras - No dar calor - Ser silenciosa	3	Forma Dispositivos Materiales		
18	Tener una estética adecuada al tipo de producto y actual	2	Forma Aspecto		
19	Resistir solicitaciones de almacenamiento	2	Embalaje		
20	Facilitar el almacenamiento	1	Embalaje		
21	Facilitar el transporte	1	Embalaje		
22	Permitir una buena limpieza	2	Acceso Facilidad		
23	Resistir vibraciones	4	Resistencia	Ensayos	
24	Permitir el mantenimiento -tener componentes recambiables	3	Acceso		
25	Funcionar sobre terreno accidentado	2	Estructura Dispositivos Amortiguación Pendientes Escalones Ondulaciones	12-14% 10cm	
26	Sortear elementos sueltos	2	Rodadura Dirección		
27	Permitir el uso en distintos tipos de terreno	3	Rodadura Amortiguación Fricción en superficies de ensayo		
28	Permitir el estacionamiento	2			
29	Ser fácil de guardar	3	Forma Volumen		
30	Tener piezas recambiables	4	Medidas métricas		

3.2.3. Exigencias

Nº	DESIGNACIÓN	K	CRITERIO	NIVEL	FLEXIBILIDAD
31	Ser seguro -proteger de accidentes -tener elementos no cortantes, ni cantos vivos -tener elementos protectores -no producir enganchones	5	Norma Estructura Forma Aislamiento	Ensayos	
32	Permitir la retención o frenada del vehículo	3	Dispositivos		
33	Tener gran resistencia -estática -al impacto -a la fatiga	4	Resistencia	Ensayos	
34	Tener resistencia a la combustión	3	Revestimiento		
35	No deteriorar el suelo	4	Material de neumáticos		
36	Ser ecológico en la medida de lo posible -eliminación del producto -proceso de fabricación -eliminación del embalaje	3	Materiales		
37	Resistir agentes externos -polvo -arena -hielo -agua -productos limpieza, bebé... -brisa marina -humedad	4	Materiales Resistencia	Ensayos	
38	Resistir un amplio rango de temperaturas	4	Ensayos Material		
39	Resistir los cambios de temperatura	3	Temperatura Material		



CAPÍTULO 4: LA FUNCIÓN DE CALIDAD

CAPÍTULO 4: LA FUNCIÓN DE CALIDAD

Con el fin de asegurar la calidad en el diseño de nuestro producto, procederemos con el Despliegue de la Función de Calidad (traducción de QFD, Quality Function Deployment).

A través del QFD, captaremos las demandas reales del mercado, las plasmaremos como objetivos de diseño y conseguiremos así que éstos permanezcan presentes durante el desarrollo del diseño.

El QFD está formado por cuatro matrices: la planificación del producto, la de piezas, la del proceso y el control de calidad. Por el momento, vamos a centrarnos más en la primera y en la segunda matriz, puesto que son las que más guardan relación con la labor de diseño de producto en lo referente a la transformación de las demandas del cliente en características de producto.

Empezaremos por la primera matriz, llamada Casa de Calidad o matriz de QUÉ/CÓMO ya que relaciona las demandas del cliente con los parámetros técnicos a emplear por el ingeniero en el diseño. Se trata de comprender la voz del cliente y traducirla a la voz del ingeniero.

4.1. La Casa de la Calidad

4.1.1. Captación de las Demandas del Cliente

La necesidad de un cliente es una descripción, expresada utilizando sus mismas palabras, del beneficio que quiere obtener a través del producto.

Con el fin de conocer las demandas del cliente, aparte de las encuestas plasmadas en el PCM (Apartado 2.2.), se ha realizado otra en un centro de gente con discapacidad sobre las prestaciones que se desean y no existen o no abundan en el mercado. Hemos destacado las siguientes:

“Una silla ligera, de cómoda transferencia, fácilmente convertible en silla para la playa, que pudiera al menos llegar hasta la orilla con ella y que ocupe poco espacio una vez plegada para llevarla en el maletero.”

“Una silla con algún tipo de mecanismo que realizara la función de mover las piernas, precisamente estoy alarmado por la pérdida de masa muscular y también por activar la circulación sanguínea ya que las piernas se me enfrían mucho en invierno.”

“Una silla que permita la posibilidad de acomodarse y cambiar de posición por el mismo usuario en la silla. Pasan sentados muchas horas y la posibilidad de no depender de una tercera persona para cambiar de posición sería un éxito.”

“Una silla que, sin ser eléctrica, reduzca y/o acomode considerablemente el continuo esfuerzo de desplazarse con la silla.”

Estas descripciones textuales han sido destacadas por su carácter innovador, para recibir nuevas ideas de deseos incumplidos del cliente. No obstante, el diseño será enfocado de

forma que satisfaga las necesidades básicas y, en la medida de lo posible, se intentará introducir alguna nueva idea que mejore el producto estándar.

4.1.2. Estructuración de las Demandas

A continuación, con el propósito de manejar mejor las necesidades del consumidor, estructuraremos dichas necesidades de forma jerárquica, de los conceptos más generales a conceptos más concretos. Así, nombraremos los rasgos abstractos y luego las características que ayudarían a cumplir estos rasgos.

SILLA DE RUEDAS		
DEMANDAS PRIMARIAS	DEMANDAS SECUNDARIAS	DEMANDAS TERCIARIAS
<i>Fácil de usar</i>	Fácil de manejar	Alta maniobrabilidad
		Facilidad para subir pendientes
		Poco esfuerzo de impulso
		Facilidad para moverse en espacios pequeños
		Posibilidad de manejo por acompañante
		Facilidad para estacionar
		Facilidad para superar bordillos
		Facilidad para acceder y salir
		Fácil de plegar/desplegar
		Fácil de coger una vez plegada
	Fácil de transportar	Que sea ligera
		Que ocupe poco plegada
		Que se pueda transportar en coche
		Fácil acceso al transporte público
	Que sea fácil de mantener	Fácil de limpiar
		Tener recambios perfectamente ubicables
<i>Segura</i>	Que sea estable	
	Que no produzca enganchones ni cortes	
	Que no produzca graves lesiones con los posibles impactos	
	Que se pueda anclar en transportes públicos	

	Que se pueda inmovilizar en pendiente	
	Que sujete bien el cuerpo	
Resistente	Que resista esfuerzos	Resistente a la fatiga
		Resistente al impacto
		Que permita bastante carga
	Que resista al ambiente	Que se pueda manejar en terrenos no pavimentados
		Soportar condiciones climáticas adversas
Cómoda	Que se adapte al usuario	Que sea ergonómica
		Que permita reposar brazos y piernas
		Que permita regular posiciones
	Que no genere molestias	Que no genere escaras
		Que no tenga vibraciones
		Que el asiento no produzca mucho calor
		Que sea silenciosa
Atractiva	Que tenga una estética cuidada	
	Que se pueda personalizar	
	Que admita complementos	
Económica	Que sea relativamente barato	

4.1.3. Priorización de las Demandas

Lo ideal sería satisfacer todas las necesidades del cliente. Sin embargo, hacerlo incrementaría demasiado el precio del producto. Además, hay necesidades cuya solución compromete a la solución de otra. Por ejemplo, si hacemos la silla muy ligera, corremos el riesgo de conseguir que sea poco resistente y viceversa. Si hacemos el asiento muy ancho para el confort del usuario, el acceso de la silla a viviendas se vería comprometido.

Debemos priorizar cada una de las demandas para saber cuál se debe solucionar por encima de las demás. Todas las demandas anteriormente mencionadas son, en su gran mayoría, imprescindibles para los clientes, así que hemos realizado una serie de encuestas para que ellos mismo valoren cada una de las demandas.

La importancia de cada una se puntuaba de 1 a 5, de menor a mayor importancia. La muestra de la población es de 200 personas. Los resultados se reflejan en la siguiente tabla.

<u>Tabla de prioridades</u>	IMPORTANCIA					
DEMANDAS	1	2	3	4	5	MEDIA
<i>Fácil de usar</i>	0	14	48	87	51	3,875
<i>Segura</i>	0	1	16	72	111	4,465
<i>Resistente</i>	0	7	46	105	42	3,91
<i>Cómoda</i>	2	4	22	84	88	4,26
<i>Atractiva</i>	53	97	42	7	1	2,03
<i>Económica</i>	26	59	78	19	18	2,72

Con estos datos, ordenamos las demandas primarias:

PUESTO DE PRIORIDAD	DEMANDA	PUNTUACIÓN MEDIA
1	Segura	4,465
2	Cómoda	4,260
3	Resistente	3,910
4	Fácil de usar	3,875
5	Económica	2,720
6	Atractiva	2,030

Vemos que la seguridad y la comodidad encabezan la lista. Es lógico porque ningún usuario se hará con una silla que ponga en peligro su salud y, dado que va a estar durante prolongados períodos de tiempo montado en ella, ésta deberá ser cómoda.

Una vez satisfechas estas dos demandas, que son más inmediatas, la resistencia y la facilidad de uso vienen después. La nota media de ambas hace que tengan casi la misma importancia. El producto tendrá que ser resistente, puesto que se trata de una herramienta

de alto precio y de uso prolongado. El cliente no será complacido si el producto se le estropea al poco tiempo. El control de la silla ha de ser sencillo. Se trata de aportar autonomía al usuario por lo que el manejo de la silla no debe requerir mucho más esfuerzo que el que emplea una persona al caminar.

La estética de la silla no tiene suficiente importancia. Se puede tener en cuenta y hacer un modelo de silla lo más atractivo posible, pero esta demanda se encuentra por debajo de las demás. El precio siempre influye a la hora de elegir un producto, pero el consumidor sabe que si éste es de buena calidad y puede satisfacerlo, el esfuerzo económico no supondrá un problema, y más aún tratándose de un producto tal como la silla de ruedas.

4.1.4. Evaluación del Cliente

El mercado de las sillas de ruedas es un territorio que no está explorado en su totalidad. Muchas empresas y universidades han elaborado complejas sillas que resuelven problemas que una silla normal no resuelve. No obstante, muchas son prototipos o modelos de alto coste en el mercado o se venden en el extranjero.

Ya hemos visto en el estudio de mercado que existen sillas de ruedas eléctricas que realizan auténticas maravillas, que son el sueño de cualquier persona con discapacidad motriz. Sin embargo, no todo el mundo se las puede permitir, por lo que se tiende a comerciar más con sillas de ruedas estándar.

A pesar de no satisfacer del todo las necesidades del cliente, se intentan desarrollar productos con mejores características que los anteriores, dentro del mismo tipo de silla. Características tales como el peso, las medidas y pequeños ajustes varios son las que tienen importancia para el consumidor que no puede permitirse una silla futurista.

Veamos la valoración del cliente de los productos de la competencia acerca de las demandas antes mencionadas:

- Seguridad: un escaso número de usuarios han tenido quejas acerca de esto. Los mismos fabricantes de sillas ya tienen en cuenta la mayoría de factores a la hora de diseñar una silla que sea segura. No se trata de poner cinturón de seguridad ni nada por el estilo, con la reducida velocidad que alcanza la silla sería absurdo. El producto se escoge en función de su uso lo que supone que cada usuario se atiene al nivel de estabilidad de su silla. En lo que respecta a la seguridad, la competencia ha sabido ofrecer con creces sillas que la ofrecen.
- Comodidad: aquí sí que la satisfacción del cliente varía. Hay productos de la competencia que, tras su uso prolongado, producen escaras en los glúteos, provocan sudor en la espalda por un asiento que transmite mucho calor, no poseen un reposabrazos que permita tener los brazos relajados correctamente y un largo etcétera sobre cosas que defraudan al cliente. El cliente exige que se tenga en cuenta que ha de estar numerosas horas sentado en la silla y, por tanto que se cuide cada detalle con relación a su confort. Las sillas con asientos ajustables, compuestos de un material suave que no produzca demasiado calor, son muy bien recibidas.

- Resistencia: no es este aspecto uno de los aspectos más criticados por el cliente. La competencia ofrece una vida útil razonablemente larga y una resistencia al desgaste, a los esfuerzos y a los impactos elevada. No corren rumores sobre empresas que venden sillas que se rompen enseguida o que se oxidan con facilidad. La calidad ofrecida hasta el momento es buena, por lo que debemos seguir el ejemplo de la competencia.
- Facilidad de uso: es evidente que por mucho que se modifique, una silla de ruedas manual supondrá un esfuerzo físico. El cliente, por ello, exige en los productos, sobre todo, ligereza, de ahí que las sillas más veneradas sean las de aluminio. Ni mencionar los controles de la silla, pues siempre se busca la estructura y los componentes adecuados para que el rendimiento sea máximo. El sistema de movimiento sigue siendo costoso, por eso se han inventado dispositivos que facilitan las maniobras. El volumen de la silla influye también en su facilidad de uso. El cliente siempre pide una silla que sea lo suficientemente ancha como para garantizar su comodidad pero lo suficientemente estrecha para acceder a diversos lugares. Siempre se hace hincapié en el plegado para que sea inmediato. Al cliente no le gusta desmontar media silla antes de empezar a plegarla.
- Económica: el usuario valora que el producto sea económico, pero que sea de calidad. Sin ir más lejos, nos limitaremos a crear algo en lo que valga la pena invertir el dinero. No meter piezas inútiles, buscar soluciones sencillas para evitar que el precio del producto suba. En todos los productos el cliente evalúa el precio con detenimiento.
- Atractivo: todos los modelos de la competencia intentan evitar que sus productos no tengan aspecto de antiguo. Simplemente con que tenga una apariencia agradable, el cliente estará satisfecho.

Existen numerosas ideas que el consumidor ofrece para mejorar el producto, ya que también existen innumerables limitaciones para éste. Sin embargo, muchas no son factibles o, si lo son, económicamente no se las podrían permitir.

4.1.5. Elaboración de la Lista de Parámetros Técnicos

Para satisfacer las necesidades del cliente, primero debemos conocer el sistema de medida de cada una de ellas.

Hemos elaborado una lista con los parámetros técnicos y con las respectivas unidades que necesitamos tener en cuenta para el diseño.

Es muy difícil asociar parámetros de medición para algunas demandas, en concreto, las subjetivas. El atractivo o la comodidad son un ejemplo de ello. En estos casos, es necesario objetivar de alguna manera, así que hemos elegido una especie de escala de 1 a 10 que nos pueda permitir orientarnos.

PARÁMETROS TÉCNICOS	UNIDADES
Peso completo	kg
Peso del chasis	kg
Materiales	-
Longitud	cm
Longitud entre ejes	cm
Anchura entre ruedas	cm
Anchura plegada	cm
Altura	cm
Altura del asiento	cm
Altura de los reposabrazos	cm
Altura de los reposapiés	cm
Inclinación del asiento	°
Rango de regulación de la altura del asiento	cm
Rango de regulación de la altura de los reposabrazos	cm
Rango de regulación de la altura de los reposapiés	cm
Rango de regulación de la inclinación del asiento	°
Fuerza de impulso	Kp o N
Radio de giro	m
Volumen plegado	m ³
Volumen abierto	m ³
Número de elementos	unidades
Anchura mínima de paso	cm
Capacidad de carga	kg
Presión de los neumáticos	bar
Diámetro de las ruedas delanteras	mm
Diámetro de las ruedas traseras	mm
Ángulo de las ruedas traseras	°
Capacidad de carga	Kg
Nivel de amortiguación	N
Nivel de comodidad	Escala de 1 a 10
Nivel de modernidad	Escala de 1 a 10
Nivel de estabilidad	°
Coste	€

4.1.6. Medida de los Parámetros Técnicos

En esta fase, compararemos diferentes modelos de la competencia para hacerlos a la idea sobre qué valores rondan los parámetros técnicos principales del producto a diseñar.

Para ello, hemos elegido tres modelos disponibles en el mercado: la silla ultraligera Xenon de la marca Quickie (A), la Live II-70 (B) y la K-Champion de la marca Küschall (C).

Hemos reflejado los resultados en la siguiente tabla:

MODELOS => PARÁMETROS TÉCNICOS V	A	B	C
Peso completo (kg)	8,4	16,5	11,7
Longitud total (cm)	92	103	90
Altura total (cm)	78	92	91,5
Anchura total (cm)	50	60	54
Anchura total plegada (cm)	25	29	31
Ruedas traseras (mm)	550	600	580
Ruedas delanteras (mm)	140	200	150

4.1.7. Elaboración de la Matriz de Relaciones

Después de haber estudiado las necesidades y los parámetros técnicos, el siguiente paso es ver de qué modo están relacionados viendo, a su vez, la importancia que le da el cliente, así como los valores técnicos con los que opera la competencia.

4.1.7.1. Cuerpo Central de la Matriz

El primer paso es definir de qué modo afectan los parámetros técnicos a cada una de las necesidades. Es decir, ver si una demanda del cliente se cumple o no al modificar una característica de la silla y en qué medida lo hace.

Para ello se empieza elaborando una tabla que plasma las distintas necesidades que existen, junto con unos valores que reflejan la importancia que nosotros y el cliente les damos, frente a una serie de parámetros técnicos.

La finalidad de esta tabla es identificar el tipo de relación que existe entre esos parámetros y las necesidades y, posteriormente, evaluar dichos parámetros para saber a cuáles de ellos prestar mayor atención a la hora de diseñar.

La relación vendrá definida mediante estos números:

9=Fuerte

3=Media

1=Ligera

0=No existe relación

				Parámetros de Diseño																	
Calificación ponderada actual				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Necesidad Superior	No	Necesidad del Cliente	Peso Ponderado	Peso	Dim. silla	Dim. pleg/desmont	Materiales	Dim. asiento	Altura rep.brazos	Altura rep.plás	Inclinación del asiento	Longitud entre ejes	Rango regula- ciones	Diám. Rueda delantera	Diá. rueda trasera	Ángulo rueda trasera	Nivel de amortiguación	Nº de elementos	Fuerza de impulso	Radio de giro	Precio
FÁCIL DE USAR	1	Facilidad para moverse en espacios pequeños	7,0%	1	9	1	0	3	0	1	1	9	0	0	0	9	0	0	0	3	0
	2	Facilidad para estacionar	4,0%	9	3	1	0	1	0	0	1	3	0	1	0	3	0	0	0	0	0
	3	Facilidad para subir pendientes	5,0%	9	3	0	3	0	0	0	9	3	0	0	0	1	1	0	9	0	0
	4	Facilidad de manejo por acompañante	5,0%	9	9	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	9	1	0
	5	Que sea ligera	8,0%	9	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	6	Que sea fácil de mantener	4,0%	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3
	7	Que sea fácil de plegar/desplegar	5,0%	1	3	9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
	8	Poco esfuerzo de impulso	4,0%	9	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	3	3	1	1	9	0	0
SEGURA	9	Que sea estable	8,0%	9	9	0	0	3	0	0	9	9	0	1	1	9	0	0	0	1	0
	10	Que no produzca accidentes o lesiones al usuario	5,0%	1	0	0	9	9	1	1	1	0	0	0	1	1	9	1	1	0	0
	11	Que sujete bien el cuerpo	5,0%	0	0	0	1	9	3	3	3	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
RESISTENTE	12	Que resista esfuerzos mecánicos	5,0%	1	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	3	0	0
	13	Que resista agentes medioambientales	5,0%	0	0	0	9	0	0	0	0	3	0	1	1	0	3	0	0	0	0
CÓMODA	14	Que se adapte al usuario	8,0%	0	1	0	1	9	9	9	9	0	9	1	1	1	0	0	1	0	1
	15	Que no genere escaras	5,0%	0	0	0	9	9	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	Que no tenga vibraciones	5,0%	3	1	0	3	0	0	0	0	1	0	1	1	0	9	1	0	0	0
	17	Que el asiento no produzca mucho calor	4,0%	0	0	0	9	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	Que sea silenciosa	3,0%	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
ATRACTIVA	19	Que tenga una estética moderna	1,0%	1	3	3	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	20	Que admita complementos	1,0%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	3
ECONÓMICA	21	Que tenga un precio bajo	3,0%	3	3	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	9
			100%																		

4.1.7.2. Pirámide de Correlación

La pirámide muestra la correlación existente entre los distintos parámetros técnicos si la hay. Además se puede apreciar si esta es positiva o negativa, es decir, si dos parámetros se complementan o entran en conflicto. Que la relación se considere de una forma u otra dependerá del enfoque que dé a cada parámetro el diseñador.

	Peso	Dimensiones silla	Dimensiones plegada/desmontada	Materiales	Dimensiones asiento	Altura reposabrazos	Altura reposapiés	Inclinación del asiento	Longitud entre ejes	Rango regulaciones	Diámetro rueda delantera	Diámetro rueda trasera	Ángulo rueda trasera	Nivel amortiguación	Nº de elementos	Fuerza de impulso	Radio de giro	Precio
Peso		●		●										●	●	●		
Dimensiones silla	●		●		●				●									
Dimensiones plegada/desmontada		●							●							●		
Materiales	●																	●
Dimensiones asiento		●																
Altura rep.brazos																		
Altura reposapiés																		
Inclinación del asiento																		
Longitud entre ejes		●	●														●	
Rango de regulaciones																		
Diámetro rueda delantera																		
Diámetro rueda trasera																		
Ángulo rueda trasera																		
Nivel de amortiguación	●																	
Nº de elementos	●															●		●
Fuerza de impulso	●		●												●			
Radio de giro									●									
Precio				●											●			

4.1.7.3. Tabla de Importancias

En esta parte de la matriz se muestran diferentes porcentajes que contienen la información para conseguir la aproximación de las demandas del cliente a objetivos del producto. De este modo, podemos diferenciar:

- **Evaluación del cliente:** Corresponde al nivel de acierto que adjudica el cliente, en tanto por ciento, a la estimación que la empresa realiza sobre la importancia que tiene cada requerimiento funcional sobre el producto en cuestión.
- **Peso ponderado:** Peso o importancia, en tanto por ciento, que la empresa adjudica a cada necesidad o requerimiento funcional. La suma de los valores de cada necesidad debe dar 100%.
- **Evaluación ponderada:** Peso o importancia, en tanto por ciento, que el cliente adjudica a cada necesidad o requerimiento funcional.
- **Brecha absoluta o ponderada:** Corresponde al tanto por ciento a mejorar en cada necesidad para alcanzar los niveles impuestos por el cliente.
- **Brecha absoluta relativa:** Corresponde el tanto por ciento que mejorará el producto en general si se ajusta la importancia de esa necesidad a la sugerida por el cliente. La suma de los valores de cada necesidad debe dar 100%.

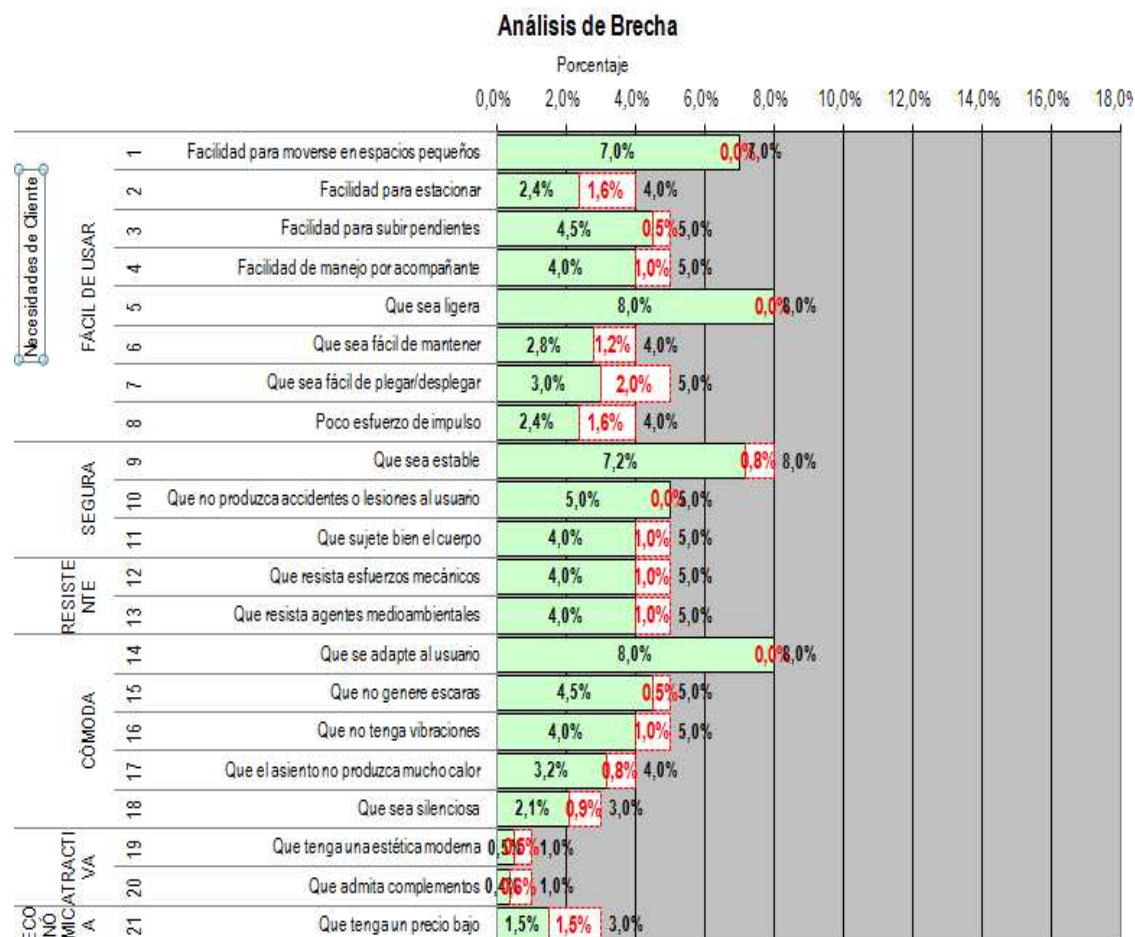
		Eval. de clientes	Peso Ponderado	Eval. ponderada	Brecha absoluta ponderada	Brecha absoluta relativa
1	Facilidad para moverse en espacios pequeños	100%	7,0%	7,0%	0,0%	0,0%
2	Facilidad para estacionar	60%	4,0%	2,4%	1,6%	9,1%
3	Facilidad para subir pendientes	90%	5,0%	4,5%	0,5%	2,9%
4	Facilidad de manejo por acompañante	80%	5,0%	4,0%	1,0%	5,7%
5	Que sea ligera	100%	8,0%	8,0%	0,0%	0,0%
6	Que sea fácil de mantener	70%	4,0%	2,8%	1,2%	6,9%
7	Que sea fácil de plegar/desplegar	60%	5,0%	3,0%	2,0%	11,4%
8	Poco esfuerzo de impulso	60%	4,0%	2,4%	1,6%	9,1%
9	Que sea estable	90%	8,0%	7,2%	0,8%	4,6%
10	Que no produzca accidentes o lesiones al usuario	100%	5,0%	5,0%	0,0%	0,0%
11	Que sujete bien el cuerpo	80%	5,0%	4,0%	1,0%	5,7%
12	Que resista esfuerzos mecánicos	80%	5,0%	4,0%	1,0%	5,7%
13	Que resista agentes medioambientales	80%	5,0%	4,0%	1,0%	5,7%
14	Que se adapte al usuario	100%	8,0%	8,0%	0,0%	0,0%
15	Que no genere escaras	90%	5,0%	4,5%	0,5%	2,9%
16	Que no tenga vibraciones	80%	5,0%	4,0%	1,0%	5,7%
17	Que el asiento no produzca mucho calor	80%	4,0%	3,2%	0,8%	4,6%
18	Que sea silenciosa	70%	3,0%	2,1%	0,9%	5,1%
19	Que tenga una estética moderna	50%	1,0%	0,5%	0,5%	2,9%
20	Que admita complementos	40%	1,0%	0,4%	0,6%	3,4%
21	Que tenga un precio bajo	50,00%	3,0%	1,5%	1,5%	8,6%
		76,7%	100,0%	82,5%	17,5%	100,0%

Aquí tenemos la parte inferior de la matriz donde observamos cada parámetro, con su peso en función de la cantidad e intensidad de su influencia sobre las demandas, las unidades en las que se mide, la dirección de sus valores (contra más mejor o peor), el nivel actual que posee nuestra empresa con respecto a ese parámetro, el nivel de la competencia, el valor que buscamos como objetivo y la dificultad que supondría mejorarlo.

Parámetros de diseño	Peso ponderado OK	Unidades	Dirección de Mejora	Nivel actual	Nivel competencia 1	Nivel competencia 2	Nivel competencia 3	Meta	Dificultad
Peso	3,5	Kg	Menor es mejor	15	8,4	16,5	11,7	14	70%
Dim. silla	2,7	Cm (a x l x h)	Menor es mejor	60 x 105 x 92	50 x 92 x 78	63 x 103 x 92	54 x 90 x 91,5	58 x 100 x 90	50%
Dim. pleg/desmont	0,6	Cm (a x l x h)	Menor es mejor	48 x 90 x 92	25 x x 88 x 53	29 x 90 x 92	31 x 90 x 92	46 x 90 x 92	80%
Materiales	3,3	-		Hierro	Aluminio	Hierro	Aluminio	Fibra de C o Al	10%
Dim. asiento	2,9	Cm (a x l x h)	Mayor es mejor	45 x 44 x 36	32 x 34 x 40	46 x 42 x 42	No disponible	45 x 46 x 38	20%
Altura rep.brazos	0,9	Cm		74	No disponible	76	No disponible	74	20%
Altura rep.piés	1,0	Cm	Mayor es mejor	5	No disponible	24	No disponible	10	30%
Inclinación del asiento	2,4	°		6	15	5	-10	5	10%
Longitud entre ejes	1,9	Cm		50	No disponible	51	No disponible	43	20%
Rango regulaciones	0,8	Cm y °		25	No disponible	No disponible	No disponible	20	10%
Diám. Rueda delantera	0,3	Mm		180	80	200	150	127	10%
Diá. rueda trasera	0,4	Mm		635	610	600	580	635	10%
Ángulo rueda trasera	1,8	°		90	90	90	90	90	5%
Nivel de amortiguación	1,3	N	Mayor es mejor	-	No disponible	No disponible	No disponible	-	10%
Nº de elementos	0,7	Unidades	Menor es mejor	190	No disponible	No disponible	No disponible	170	70%
Fuerza de impulso	1,6	N	Menor es mejor	40	No disponible	No disponible	No disponible	30	40%
Radio de giro	0,3	Kp	Menor es mejor	50	No disponible	51	No disponible	43	20%
Precio	0,5	€	Menor es mejor	1.600	2.540	348	1.475	1.300	80%

4.1.7.4. Primera conclusión

Para mejorar la calidad del producto, analizamos el primer QFD en busca de los parámetros más relevantes en los cuales nos tenemos que centrar. Las necesidades del cliente y los parámetros de diseño quedan clasificados según su importancia en los siguientes gráficos:

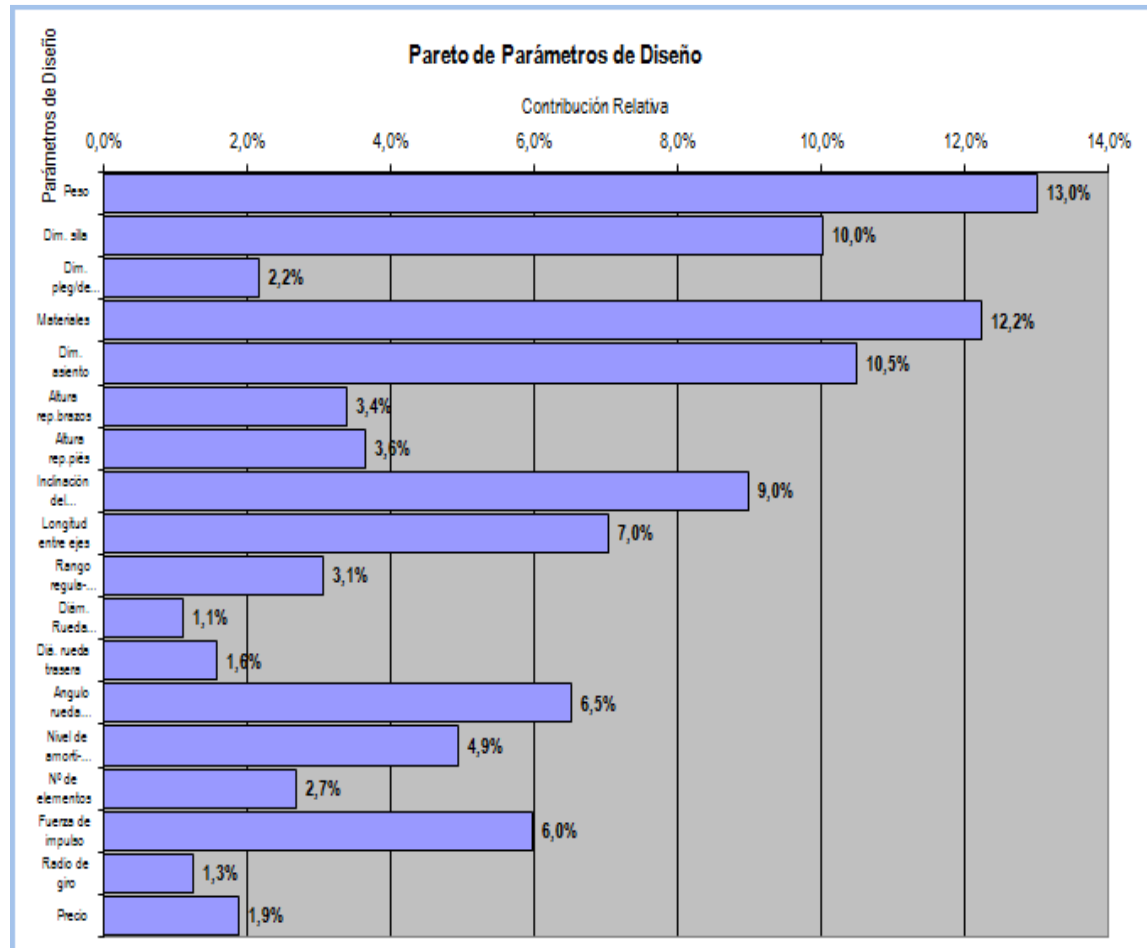


Las necesidades de mayor porcentaje o peso son requisitos del cliente importantes para la empresa y si la brecha absoluta relativa es baja significa que la evaluación competitiva es elevada, por lo que debemos mantenerla, de lo contrario, se debe hacer una mejora que lo resuelva. En este caso tenemos que:

- **Facilidad para moverse en espacios pequeños** (peso: 7% brecha abs. relativa: 0%)→mantener.
- **Que sea ligera** (peso: 12,6% brecha abs. relativa: 0%)→ mantener
- **Que sea estable** (peso: 8% brecha abs. relativa: 4,6%)→ debemos mejorar
- **Que se adapte al usuario** (peso: 8% brecha abs. relativa: 0%)→ mantener

Las necesidades con ponderación o peso bajo, son requerimientos del consumidor poco importantes para la empresa y si la brecha absoluta relativa es elevada significa que se están llevando a cabo esfuerzos en balde; si por el contrario es baja no es necesario dedicarle esfuerzos.

- **Que sea silenciosa** (peso: 3% brecha abs. relativa: 5,1%)→ debemos darle menos importancia
- **Que tenga una estética moderna** (peso: 1% brecha abs. relativa: 2,9%)→ mantener
- **Que admita complementos** (peso: 1% brecha abs. relativa: 3,4%)→ mantener
- **Que tenga un precio bajo** (peso: 3% brecha abs. relativa: 8,6%)→ debemos darle menos importancia



Los parámetros técnicos que mayor importancia tienen según se ha podido apreciar son:

- Peso (13%)
- Materiales (12,2%)
- Dimensión asiento (10,5%)
- Dimensiones de la silla (10%)
- Inclinación del asiento (9%)
- Longitud entre ejes (7%)
- Ángulo de las ruedas traseras (6,5%)
- Fuerza de impulso (6%)

Éstos son los parámetros que más en cuenta habrá que tener a la hora de mejorar puesto que sus ponderaciones son más altas e influyen en las demandas más importantes y/o en múltiples demandas.

Debemos ser más competitivos en relación al peso y a las dimensiones de la silla debido a que la competencia posee mejores requisitos.

Para los puntos de conflicto, es decir, puntos de la matriz de relaciones en el que se encuentran valores de necesidades y valores de parámetros de diseño contrapuestos (uno elevado y otro bajo) es preferible que no estén relacionados fuertemente, ya que si es así la evaluación cuantitativa de nuestro diseño para esta característica de calidad difiere de la expectativa del cliente.

La relación entre precio-material y estética-material es muy fuerte por lo que convendría replantearnos la percepción de la calidad de la empresa para que encaje con la del cliente. Se puede utilizar la matriz o pirámide de correlaciones en busca de correlaciones positivas para dicho propósito.

La media de evaluación de clientes es de un 76,7%, por lo que la empresa realiza una estimación de la distribución de los pesos de las necesidades muy buena, aunque mejorable. Por tanto, se pueden obtener con bastante precisión los pesos que adjudica el cliente a cada necesidad planteada.

Los valores de mayor brecha relativa corresponden a las necesidades de facilidad de estacionar (9,1%), facilidad de plegado (11,4%) y la fuerza de impulso (9,1%).

La facilidad de plegado no tiene por qué influir en la fuerza de impulso pero gran parte de mecanismos de plegado sí que impide aprovechar de forma óptima la fuerza que realiza el usuario. Más adelante detallaremos este asunto y en función de nuestros objetivos nos decantaremos por un parámetro u otro o intentaremos hallar una solución que impida que se enfrenten entre ellos.

4.2. Segunda Matriz del QFD

4.2.1. Elaboración de la segunda matriz del QFD

Tras elaborar y analizar la primera matriz del QFD, damos paso a analizar la segunda matriz del mismo. Así como en la primera hemos visualizado las relaciones existentes entre las necesidades del cliente y los parámetros técnicos, en la segunda visualizaremos la relación que hay entre los parámetros técnicos y los componentes que van a formar parte del diseño del producto. Los niveles de importancia de cada parámetro están vinculados a las demandas, tal como se ha plasmado en la primera matriz.

El objetivo de esta matriz es jerarquizar los componentes del producto en función de su peso frente a los parámetros del diseño para más adelante centrarnos en los que mayor importancia tengan.

En resumen, esta matriz está compuesta por:

- Los parámetros de diseño y su peso en función de las necesidades del cliente
- Los componentes de diseño y sus pesos totales (suma total de los productos de los pesos de los parámetros por las relaciones parámetro-componente) y relativos en función de los parámetros de diseño.
- La relación parámetros-componentes (9=fuerte, 3=media, 1=ligera, 0=nula).

			Componentes del diseño							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Nº	Parámetros de diseño	Peso ponderado	Chasis	Asiento	Ruedas	Reposabrazos	Reposapiés	Freno	Mecanismo de extracción	Palanca de propulsión
1	Peso	13%	3	0	3	1	1	1	1	9
2	Dim. silla	2,60%	9	1	3	1	1	0	0	9
3	Dim. pleg/desmont	9,70%	9	0	0	0	0	0	3	1
4	Materiales	12,30%	1	3	3	1	1	3	1	3
5	Dim. asiento	10,80%	3	3	0	0	0	0	0	0
6	Altura rep.brazos	3,30%	1	0	1	9	0	0	0	1
7	Altura rep.piés	3,70%	1	0	0	0	9	0	0	0
8	Inclinación del asiento	8,90%	3	9	0	0	0	0	0	0
9	Longitud entre ejes	7,10%	9	0	3	0	0	0	0	0
10	Rango regula- ciones	3,00%	0	0	0	0	9	0	0	0
11	Diám. Rueda delantera	1,10%	0	0	9	0	3	0	0	0
12	Diá. rueda trasera	1,50%	0	0	9	0	0	0	0	9
13	Ángulo rueda trasera	6,70%	0	0	9	0	0	0	0	0
14	Nivel de amortiguación	4,80%	0	1	3	0	0	0	0	0
15	Nº de elementos	2,60%	1	1	0	1	1	3	1	9
16	Fuerza de impulso	5,90%	0	1	3	0	0	0	0	9
17	Radio de giro	1,10%	9	0	0	0	0	0	0	0
18	Precio	1,90%	1	1	3	1	1	1	1	9
		100%								
	Peso		3,1	1,7	2,3	0,6	1,0	0,6	0,6	3,0
	Peso relativo		24,0%	13,1%	18,0%	4,9%	7,5%	4,7%	4,6%	23,3%

4.2.2. Conclusiones de la segunda matriz del QFD

Una vez estudiadas las demandas del cliente y ver cuáles son de mayor importancia, se observa la influencia de cada característica o parámetro del diseño sobre dichas demandas.

Si un parámetro está fuertemente relacionado con una demanda importante, se le irá dando cada vez más importancia y a medida que se vea su influencia sobre las demandas, se le dará un peso o valor de importancia. Una vez conocidos los pesos de todos ellos, se jerarquizan e identifican los más importantes para el diseño.

Este mismo procedimiento se realiza con los componentes del diseño pero estableciendo la relación que tienen con los parámetros.

Ya hemos obtenido la importancia de cada componente. Ahora debemos ordenarlos para identificar los componentes sobre los que debemos invertir mayor esfuerzo.

Nº	Componente	Peso relativo
1	Chasis	24%
2	Palanca de propulsión	23,30%
3	Ruedas	18%
4	Asiento	13,10%
5	Reposapiés	7,50%
6	Reposabrazos	4,90%
7	Freno	4,70%
8	Mecanismo de extracción	4,60%

A la vista de esto, diremos que gran parte de nuestra atención tendrá que ir especialmente enfocada al chasis, la palanca de propulsión y las ruedas.

Hemos visto que el chasis determina en gran medida las dimensiones totales de la silla, que influye en el peso y en otros factores importantes. Las ruedas, aunque en menor medida también lo hacen. La palanca de propulsión lo hace en las dimensiones, el peso, el número de elementos, el precio y la fuerza de impulso, con lo que requiere gran atención.

Estos tres son los componentes de la silla a los que más esfuerzo les vamos a dedicar por el momento.



CAPÍTULO 5: DISEÑO CONCEPTUAL

CAPÍTULO 5: DISEÑO CONCEPTUAL

Una vez recopiladas las especificaciones del producto en el pliego de condiciones, nuestro objetivo es el planteamiento de diferentes soluciones ya visualizando en esbozos nuestro producto. Se trata de un producto con infinitud de cosas por mejorar, debido a las limitaciones del cliente. Sin embargo, solucionando unos problemas se agravan otros más relevantes.

Debemos hacer un repaso a cada componente, desarrollar todas las soluciones que se nos ocurran, variantes y alternativas, teniendo en cuenta siempre los factores claves que más condicionan al usuario en su uso diario del producto. Al fin y al cabo, el mercado de las sillas de ruedas es un territorio en el que se ha investigado mucho y han surgido innumerables ideas creativas que podrían inspirarnos.

Una vez hayamos generado todo tipo de soluciones, debemos evaluarlas y seleccionarnos, ya sea comparando entre sí las diferentes alternativas para cada componente y escogiendo la que más ventajas ofrezca o viendo cómo afectaría cada una de ellas al producto global.

5.1. Generación de soluciones

Plegado

Para el asiento tenemos dos posibles modelos a elegir

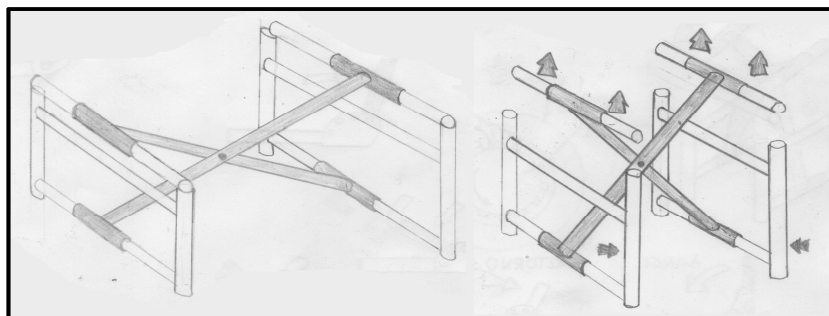
A) Plegado de “tijeras” estándar

El estándar, es decir, el más común en las sillas de ruedas, consiste en un sistema de barras que permiten un **plegado rápido, sencillo** y ayuda a repartir los esfuerzos a los que se somete el resto del chasis de la silla, es decir, ayuda a la silla a **soportar mejor la carga**.

En las barras horizontales se sujeta la lona del asiento, mientras que otras entrelazadas en diagonal sostienen la estructura de la silla y gran parte de su carga.

Para plegarla, se agarra la lona del asiento y se eleva, de forma que las barras entrelazadas se juntan en vertical reduciendo la anchura de la silla, de forma similar al funcionamiento de las tijeras. Así se realiza el plegado en **un simple movimiento**. Para desplegarla, la abrimos sujetándola de los reposabrazos, de forma que el asiento se baja y la silla se ensancha, ayudada por otras barras sujetas a las barras diagonales.

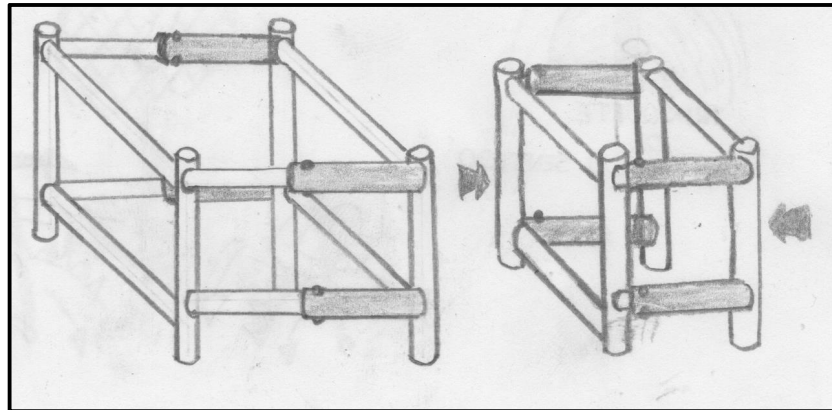
La reducción del tamaño de la silla se ve limitada por las dimensiones de las barras de plegado, así como la capacidad de introducir otros posibles mecanismos útiles, como bandejas, en el espacio que hay debajo del asiento.



B) Plegado por el interior (Sistema telescópico)

Este sistema consiste en unas barras horizontales que unen cada extremo de la silla que, con sólo aflojar unas tuercas, se encogería la silla a través de un anidamiento de unas piezas en otras.

De esta forma, la anchura se reduce considerablemente, se deja un espacio utilizable debajo del asiento y es posible aligerar el chasis.

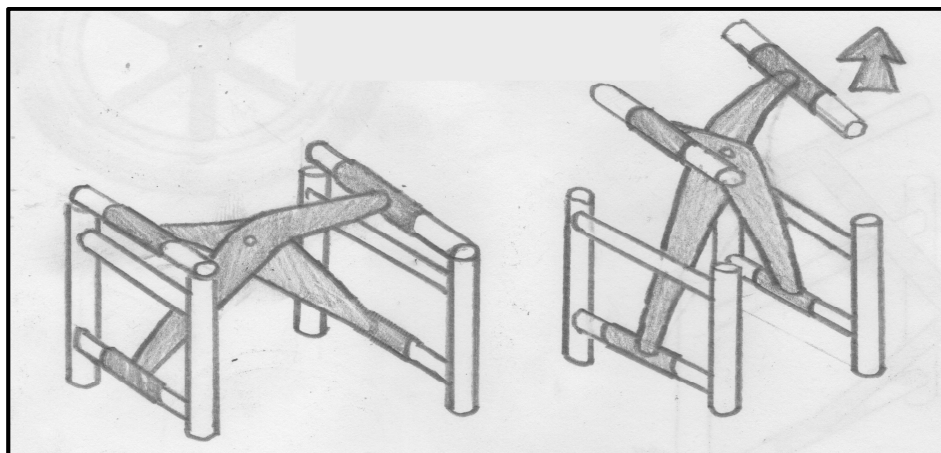


Sin embargo, resulta un sistema mucho más dificultoso a la hora de plegar. La operación se realiza con más lentitud debido a que se deben aflojar las tuercas.

La distribución de esfuerzo se reparte peor por tratarse de barras horizontales, cuando la mayoría del esfuerzo es vertical, además de empeorar la resistencia de esfuerzos horizontales por tratarse de una barra introducida dentro de otra.

C) Plegado de “tijeras” modificado

Este sistema de plegado es muy similar al de tijeras estándar, salvo que es de apariencia más moderna y existe mayor espacio por debajo del asiento, lo cual nos permite la introducción de posibles mecanismos o parrillas para almacenar objetos. Su fabricación puede resultar más costosa debido a su complejidad y la distribución de fuerzas varía en función de la forma de las tijeras.

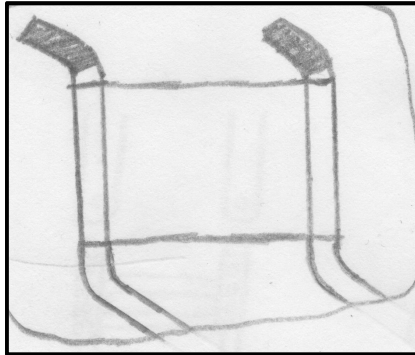


Respaldo

A) Rígido

El respaldo rígido es el más habitual y el más sencillo. La estructura principal y el respaldo componen una misma pieza.

Al ser el más sencillo, el coste es menor. Es más resistente por estar unido al resto del chasis.



Como desventaja, no se puede cambiar la inclinación del asiento en caso de que el usuario quiera ponerse más cómodo. Este tipo de respaldo es más aconsejable si se busca una silla de paseo, que requiera pocas horas de uso, por la posibilidad de que el usuario no esté cómodo todo el tiempo en una misma posición.

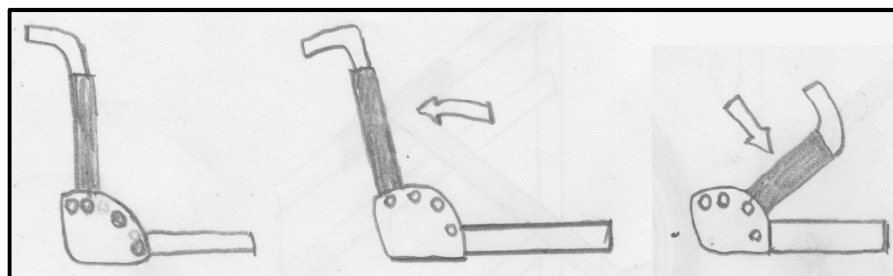
Otro inconveniente es el mayor volumen para el plegado, puesto que no se puede recoger y ocupa más.

Sin embargo, este respaldo presenta mayor seguridad, puesto que es menos frágil y menos probable que se estropee comprometiendo así la estabilidad del usuario.

B) Ajustable

Este sistema permite reclinar el asiento a gusto de la persona sentada en la silla. A través de un botón, desbloqueamos el movimiento del respaldo para colocarlo en la posición deseada y, luego, soltando el botón y por medio de un sistema de anclaje de pestaña, el respaldo se fija en una posición.

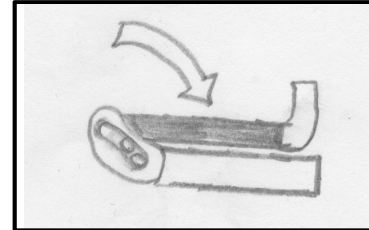
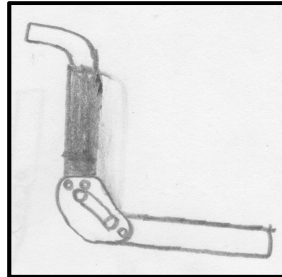
Así se favorece la comodidad de un usuario que ha estado sentado sobre la silla durante un período de tiempo prolongado.



No obstante, el asiento ajustable, para determinadas personas, supone una función innecesaria. Esto se debe a que reclinar demasiado el asiento para obtener una posición más descansada disminuye el campo visual, perjudica a la estabilidad de la silla y, lo más importante, hace que el que esté sentado resbale en el asiento, haciéndolo caer fuera de la silla porque no dispone de movilidad en las piernas para sujetarse.

C) Abatible

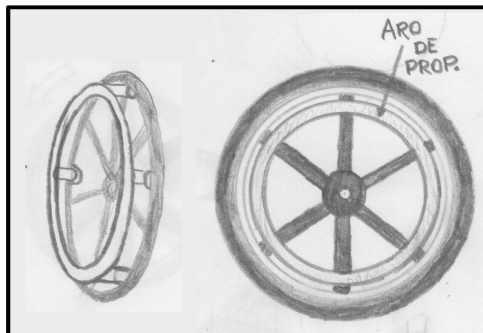
Este tipo de respaldo está enfocado al plegado de la silla. De forma similar al anterior, con un botón se suelta la pestaña que fija la posición del asiento para ponerla en posición de uso y en posición de plegado.



Sistema de propulsión

A) Aros de propulsión

Los aros de propulsión son una medida clásica para la transmisión del movimiento. Unos aros de un radio ligeramente inferior al de las ruedas traseras van sujetos paralelamente a éstas de forma que, cuando el individuo los agarre y les transmita el movimiento, éste se transfiera directamente a las ruedas.



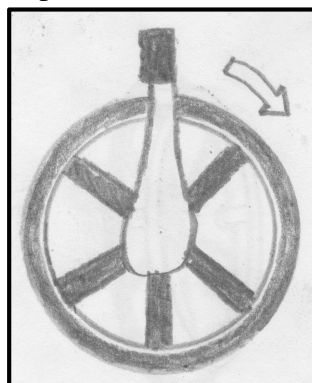
Se trata de una alternativa sencilla y económica, que apenas aporta peso al sistema. Sin embargo, el esfuerzo para impulsarla, así como la comodidad y el avance de la silla, se ven muy afectadas por el diámetro y la posición de las ruedas traseras.

Si el diámetro de la rueda es demasiado pequeño, el usuario conseguirá poco avance. La posición de las ruedas es crucial para la

comodidad al impulsarla. Si se encuentran muy lejos de los brazos, éstos tendrán que estirarse más para conseguir el mismo movimiento.

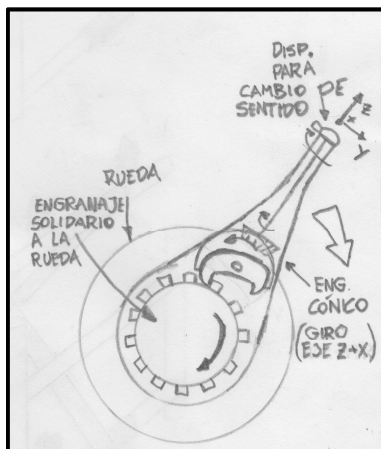
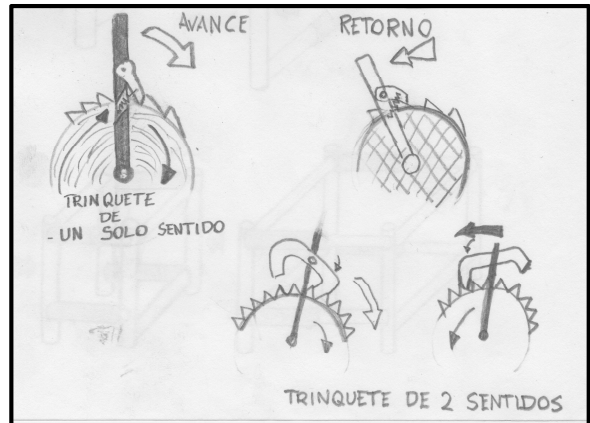
B) Sistema de palanca

Se trata de un dispositivo de conducción y frenado innovador que ya se ha empezado a comercializar.



Consiste en una palanca enganchada en las ruedas que les transmite el movimiento en una sola dirección a través de trinquetes, de forma similar al funcionamiento de una bici o una llave de carraca. No obstante, por medio de un botón, se puede elegir el sentido a tomar por cada una de las ruedas, para poder ir marcha atrás y girar.

Con este método, el usuario se impulsa de una forma mucho más cómoda. Por un lado, y, a pesar de que el mecanismo incrementa el peso del sistema, existe un mayor momento debido a la longitud de la palanca, lo que disminuye el esfuerzo de impulso. Por otro lado, la fuerza se realiza con mayor comodidad. Al hacerse el movimiento hacia delante con los brazos en horizontal, las muñecas sufren menos.



Otra ventaja es que las manos operan a mayor distancia de las ruedas, lo que disminuye el riesgo de que las manos sufran daños o se ensucien. Incrementa la salud al mismo tiempo que amplifica la fuerza de forma confortable, estable y en una posición vertical.

Las únicas desventajas son la ligera adición de peso que supone y el incremento del precio final del producto.

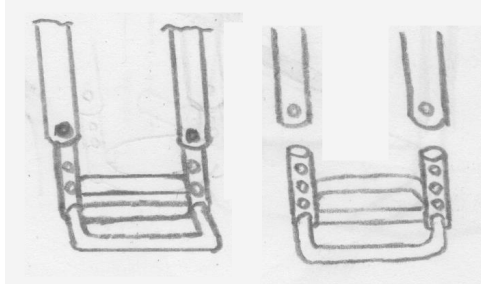
Mostramos en las siguientes imágenes el mecanismo interior de una llave de carraca.



Reposapiés

A) Extraíble

El reposapiés desmontable consta de una base para apoyar el pie en el extremo de una barra que se fija a la estructura principal. Como su propio nombre indica, se puede desmontar y separar de esta estructura principal. Para ello, se pulsa un botón que libera el mecanismo y, por medio de un giro, se desencaja para su posterior extracción.

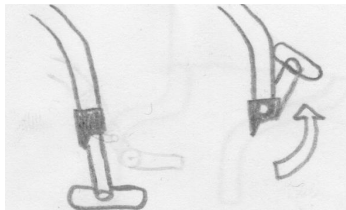


De esta forma, a la hora de recoger la silla, le quitamos peso y volumen, facilitando el almacenamiento. No obstante, tenemos que guardar los reposapiés por separado.

B) Elevable

Esta alternativa nos ofrece un plegado y almacenamiento de la silla rápido y cómodo. Los reposapiés, quedarían unidos a la estructura principal por una articulación, la cual nos permitiría recogerlos con sólo levantarlo y para usar la silla sólo tendríamos que hacer el proceso inverso.

De esta manera, no sólo disminuimos las dimensiones de la silla en dos movimientos, sino que también erradicamos la necesidad de guardar los reposapiés aparte, sin temor a no encontrar el paradero de éstos.



No obstante, debido al propio peso de los reposapiés, incrementa el peso de plegado, por lo que costará ligeramente más manipular la silla plegada. Esta diferencia de peso es muy poco apreciable.

Ruedas traseras

A) De cables tensados

Se tratan de ruedas similares a las de la bicicleta en lo que a radios se refiere, los cuales son cables tensados.

Éstos apenas sufren deformaciones al compensarse las tensiones de compresión con las de tensado. Además, se suelen montar tangencialmente a la zona cilíndrica central, para optimizar su buen comportamiento a tracción y evitar los esfuerzos de torsión que se transmiten, principalmente, tanto al acelerar como al frenar.



B) De llantas

Se trata de un modelo moderno y minimalista, que simplifica bastante el diseño de la rueda, dándole un mayor atractivo. Es más resistente a los impactos transversales que la de radios clásicos pero absorbe peor las irregularidades del terreno.



5.2. Evaluación y Selección de Soluciones

5.2.1.1. Evaluación de alternativas individuales

Para evaluar y decidir que alternativa es la apropiada, primero escogeremos una de referencia. Después, según cuál sea la demanda, iremos poniendo puntuación a las otras alternativas comparándola con la de referencia. Para realizar la comparación se establece una matriz de criterios. El sistema de puntuación será el siguiente:

“Mucho peor”-2
 “Peor”-1
 “Igual”0
 “Mejor”1
 “Mucho mejor”2

Una vez hecho esto, se realiza un sumatorio de cada alternativa para conocer su puntuación total.

	PLEGADO		
	De “tijeras” estándar	Por el interior	De “tijeras” modificado
Facilidad de uso	0	-1	0
Peso	0	0	1
Volumen plegado	0	-1	0
Atractivo	0	-1	1
Resistencia	0	-1	-1
Coste	0	1	-2
Puntuación	0	-3	-1

Tras ver la valoración de los sistemas de plegado, descartamos, sin dudarlo, el sistema de plegado por el interior, debido a su baja puntuación en comparación con el de tijeras estándar. El plegado de tijeras modificado parece ser un buen candidato, pero su ligereza y atractivo no compensa su precio y su menor resistencia, por lo que no encaja en el perfil de producto que estamos buscando.

	RESPALDO		
	Rígido	Ajustable	Abatible
Comodidad	0	2	0
Peso	0	0	0
Volumen plegado	0	0	2
Resistencia	0	-1	-1
Coste	0	-1	-1
Fiabilidad	0	-1	0
Estabilidad	0	-1	0
Puntuación	0	-2	0

La puntuación general del respaldo ajustable hace que quede descalificado. Además, según la opinión del consumidor no es una medida apropiada para una silla destinada al paseo, porque pone en riesgo su estabilidad y, si se inclina inadecuadamente, hace que el usuario se escurra por el asiento. Por otro lado, el asiento abatible aún presenta alguna característica interesante a pesar de sus desventajas frente al respaldo tradicional. Tenemos un empate entre el respaldo rígido y el abatible.

	SISTEMA DE PROPULSIÓN	
	Aros de propulsión	Sistema de palanca
Comodidad	0	2
Facilidad de uso	0	1
Volumen	0	-1
Peso	0	-2
Fuerza de prop.	0	1
Seguridad	0	1
Coste	0	-2
Puntuación	0	0

El sistema de palanca le saca ventaja a los aros de propulsión en lo que a comodidad y seguridad se refiere. No obstante, aumentan el peso, el volumen y el precio, que son también factores relevantes, por lo que conservamos como posibles las dos alternativas.

	REPOSAPIÉS	
	Extraíbles	Elevables
Comodidad	0	0
Facilidad de plegado	0	1
Volumen	0	0
Peso plegado	0	-1
Resistencia	0	-1
Almacenamiento	0	1
Coste	0	0
Puntuación	0	0

Aquí tenemos unas puntuaciones reñidas. Ciertamente es que los reposapiés elevables presentan muchas ventajas, pero existe el riesgo de que resistan menos, aparte de que el extraíble se puede ajustar. Nos decantaremos por el extraíble seguramente.

	RUEDAS TRASERAS	
	Cables tensados	Llantas
Mantenimiento	0	1
Peso	0	-1
Absorción de accidentes	0	-1
Resistencia a impactos	0	1
Atractivo	0	1
Coste	0	-1
Puntuación	0	0

El resultado está reñido. Por un lado, la función de los cables tensados es muy importante para una rueda que se somete continuamente a esfuerzos. Las bicicletas los usan debido a su velocidad y brusquedad de movimientos. A pesar de esto, las sillas de ruedas tienen otra función, razón por la que también se emplean otro tipo de radios. El precio, peso y atractivo de las llantas depende del material del que estén hechas, lo que dificulta vislumbrar la solución adecuada.

5.2.1.2. Evaluación de alternativas combinadas

Tenemos una evaluación objetiva realizada parte por parte. Hemos descartado varias ideas pero aún no tenemos claro cuáles de las que hemos aprobado llevaremos a cabo. A continuación procederemos a combinar las alternativas para evaluarlas en conjunto. Hemos obtenido las siguientes variantes (todas incluyen el plegado de tijeras tradicional):

1. Respaldo rígido + Aros de prop. + Reposapiés extraíbles + Cables tensados (AAAA)
2. Respaldo rígido + Aros de prop. + Reposapiés extraíbles + Llantas (AAAB)
3. Respaldo rígido + Aros de prop. + Reposapiés elevables + Cables tensados (AABA)
4. Respaldo rígido + Palanca + Reposapiés extraíbles + Cables tensados (ABAA)
5. Respaldo abatible + Aros de prop. + Reposapiés extraíbles + Cables tensados (BAAA)
6. Respaldo rígido + Aros de prop. + Reposapiés elevables + Llantas (AABB)
7. Respaldo rígido + Palanca + Reposapiés extraíbles + Llantas (ABAB)
8. Respaldo rígido + Palanca + Reposapiés elevables + Cables tensados (ABBA)
9. Respaldo abatible + Aros de prop. + Reposapiés extraíbles + Llantas (BAAB)
10. Respaldo abatible + Palanca + Reposapiés extraíbles + Cables tensados (BBAA)
11. Respaldo abatible + Aros de prop. + Reposapiés elevables + Cables tensados (BABA)
12. Respaldo rígido + Palanca + Reposapiés elevables + Llantas (ABBB)
13. Respaldo abatible + Palanca + Reposapiés elevables + Cables tensados (BBBA)
14. Respaldo abatible + Aros de prop. + Reposapiés elevables + Llantas (BABB)
15. Respaldo abatible + Palanca + Reposapiés extraíbles + Llantas (BBAB)
16. Respaldo abatible + Palanca + Reposapiés elevables + Llantas (BBBB)

Ahora comparamos las 16 combinaciones sumando la puntuación de cada componente para cada demanda. En este caso, con el fin de ver que opción satisface las necesidades más importantes, evaluaremos en proporción de la puntuación media de cada demanda. Es decir, multiplicaremos la puntuación obtenida de las tablas por la puntuación media de las demandas.

Las demandas secundarias se puntuarán de la misma forma que la demanda primaria a la que pertenece. Recordemos las puntuaciones dadas en el QFD.

PUESTO DE PRIORIDAD	DEMANDA	PUNTUACIÓN MEDIA
1	Segura	4,465
2	Cómoda	4,260
3	Resistente	3,910
4	Fácil de usar	3,875
5	Económica	2,720-3,80
6	Atractiva	2,030

Como a la hora de diseñar sí tenemos que tener muy en cuenta el factor económico, **subiremos su media de 2,72 a 3,80**. A pesar de que el comprador está dispuesto a pagar una buena cantidad de dinero por un producto de calidad, nosotros contamos con recursos limitados y una inversión excesiva en un producto nuevo no es muy aconsejable. Tenemos que procurar que el producto no nos salga muy caro.

A continuación, mostraremos la tabla con los resultados:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	AA	AA	AA	AB	BA	AA	AB	AB	BA	BB	BA	AB	BB	BA	BB	BB
	AA	AB	BA	AA	AA	BB	AB	BA	AB	AA	BA	BB	BA	BB	AB	BB
Seguridad	0	-	-	1	-	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1
Estabilidad	0	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Comodidad	0	-	-	2	-	0	2	2	0	2	0	2	2	0	2	2
Volumen total	0	-	-	-1	-	0	-1	-1	0	-1	0	-1	-1	0	-1	-1
Volumen plegado	0	-	-	-	2	0	0	0	2	2	2	0	2	2	2	2
Absorción de accidentes	0	-1	-	-	-	-1	-1	0	-1	0	0	-1	0	-1	-1	-1
Resistencia	0	-	-1	-	-1	-1	0	-1	-1	-1	-2	-1	-2	-2	-1	-2
Resistencia a impactos	0	1	-	-	-	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1
Fiabilidad	0	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Facilidad de uso	0	-	-	1	-	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1
Peso	0	-1	-	-2	-	-1	-3	-2	-1	-2	0	-3	-2	-1	-3	-3
Peso plegado	0	-	-2	-	-	-2	0	-2	0	0	-2	-2	-2	-2	0	-2
Facilidad de plegado	0	-	1	-	-	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1
Fuerza de prop.	0	-	-	1	-	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1
Almacenamiento	0	-	2	-	-	2	0	2	0	0	2	2	2	2	0	2
Mantenimiento	0	1	-	-	-	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1
Coste	0	-1	-	-2	-1	-1	-3	-2	-2	-3	-1	-3	-3	-2	-4	-4
Atractivo	0	1	-	-	-	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1
PUNT. Prioridades	0	-2,1	0	1,1	0,8	-2,2	-1	1,1	-1,3	1,9	0,8	-1	1,9	-1,6	-0,2	-0,2

Podemos ver que existen 6 combinaciones con buena nota:

ABAA Respaldo rígido, palanca, reposapiés extraíbles y Cables tensados (1,1)

~~**BAAA** Respaldo abatible, aros, reposapiés extraíbles y cables tensados (0,8)~~

ABBA Respaldo rígido, palanca, reposapiés elevables y cables tensados (1,1)

~~**BBAA** Respaldo abatible, palanca, reposapiés extraíbles y cables tensados (1,9)~~

BABA Respaldo abatible, aros, reposapiés elevables y cables tensados (0,8)

~~**BBBA** Respaldo abatible, palanca, reposapiés elevables y cables tensados (1,9)~~

Podemos observar que la combinación del respaldo abatible y la palanca tienen la mejor nota. No obstante, hemos pensado que sería contraproducente abatir el asiento si se mantienen las palancas enganchadas a las ruedas, ya que afecta negativamente al volumen de plegado. Por esta misma razón, descartamos BBAA y BBBA.

Las combinaciones que quedan con asiento abatible se diferencian en los reposapiés. Dado que la ventaja del asiento abatible es hacer más compacta la silla para recogerla, deberíamos aprovechar los reposapiés elevables para optimizar el plegado. Descartamos BAAA y nos quedamos con BABA como posible modelo de **“silla con plegado supercompacto”**.

Así pues, para dar variedad a los diferentes modelos a elegir, haremos de ABAA un segundo candidato puesto que, al contrario que BABA, en vez de elevables posee reposapiés extraíbles.

En consecuencia, vamos a replantear dos alternativas pero, esta vez, del conjunto de la silla.

Silla de ruedas de paseo con propulsión de palanca

Esta silla está enfocada a la gente joven con falta de movilidad en las piernas, pero que aún poseen la vitalidad para dar largos paseos con la silla y emplearla para ir a infinidad de sitios.

Replanteamos el diseño conceptual de la silla entera. Esta vez, se trata de una silla con chasis rígido. El aprovechamiento de la energía que el usuario aplica para propulsarse es del doble en una silla con armazón rígido. Se aprovecha 15-20% del impulso y en una plegable se aprovecha 5 - 8% del impulso. Esto es debido a que en una silla plegable parte de la energía de propulsión se pierde en el movimiento de su estructura por los puntos de articulación.

Otras ventajas que presenta el armazón rígido es que resulta fácil de manejar y es algo más ligero que uno similar plegable lo que compensa el peso del sistema de propulsión.

Esto quiere decir que este modelo de silla va a ser para uso continuo, para gente activa. Por esta razón, se erradica el sistema de plegado, por la escasa necesidad de transportarla recogida, además de que las palancas de propulsión lo entorpecen en gran medida.

Silla de ruedas de plegado compacto

La segunda alternativa en la que hemos pensado es en una silla de ruedas que se pueda plegar de modo que reduzca su tamaño en gran medida.

Dispone de un plegado de tijera que estrecha la estructura y unos reposapiés elevables que acortan la longitud total de la silla, además de un respaldo abatible que disminuye su altura. De esta forma, conseguimos que decrezca su volumen en las 3 dimensiones, abriendo una infinidad de posibilidades para su almacenamiento.

Su transporte se realiza de forma cómoda debido a esta reducción del tamaño, además de unas asas de tejido sólido que se encuentran en los extremos del asiento plegado. Es casi tan cómoda de transportar como un maletín.

No obstante, al estar dividida en tantísimos componentes que permiten su plegado, se empeora su resistencia, aumentan las vibraciones y la fuerza a ejercer por el usuario. Esto se debe a su falta de rigidez.

Se trata de una alternativa enfocada a personas que la emplean en terrenos poco accidentados, más interiores y zonas urbanas bien pavimentadas. Está pensada para personas que necesitan transportarla y guardarla con frecuencia. Debido a su delicadeza, su vida útil no da para un uso continuado.

5.2.1.3. Evaluación final

El producto que estamos buscando para que compita en el mercador posee el perfil de producto innovador o que, en su defecto, aporte alguna novedad que no haya sido explotada como es debido. Desde un principio, hemos querido facilitar el día a día de aquella gente con discapacidad con una silla diferente a las convencionales.

Nuestra prioridad ha sido la gente joven, la gente activa y con la suficiente vitalidad para llevar a cabo una vida social normal. Dicho de otro modo, recordemos lo dicho anteriormente:

“Dado a que nuestra prioridad el producto estará más enfocado a personas de entre quince y sesenta y cinco años que tengan paraplejia, hemiplejia o cualquier tipo de parálisis o disfunción en las extremidades inferiores que les impida andar.

Este grupo de personas al que va enfocado, por lo general y a pesar de su discapacidad, desea gozar de autonomía en su vida diaria y debemos proporcionarles un artículo cómodo y de fácil manejo, con prestaciones tales que hagan disminuir su esfuerzo aumentando su eficiencia.”

Como creemos que ésta es una buena oportunidad de hacerse un hueco en este mercado, nos hemos decantado por la **“Silla de ruedas de paseo con propulsión de palanca”**.

Esta silla muestra el perfil del producto deseado. Su sencillo y cómodo funcionamiento facilita su uso y el público al que va dirigido no espera que tenga un plegado óptimo, sino que se decanta por una silla que les otorgue autonomía.

5.2.2. Resolución Inventiva de Problemas (TRIZ)

La teoría de TRIZ (acrónimo ruso de Teoría de la Resolución Inventiva de Problemas), parte de la hipótesis de que hay principios de invención universales. Lo que se pretende es identificar dichos principios de modo que los pasos que se dan durante el proceso de invención queden determinados y puedan emplearse como una especie de método de ayuda.

Para aplicar TRIZ a la resolución de un problema, es necesario seguir una serie de pasos.

5.2.2.1. Identificación del problema

Consiste en determinar las características del sistema sometido a estudio, cuáles son las condiciones que debe cumplir el producto, la función positiva primaria, los efectos negativos y el resultado ideal. En el caso de la silla de ruedas que se pretende diseñar tendríamos:

- **Entorno de Operación:** la silla de ruedas debe permitir el transporte autopropulsado de una persona discapacitada en diversos tipos de terreno, y poder almacenarse fácilmente cuando no se use.
- **Parámetros:** Peso completo, dimensiones, dimensiones plegada, materiales, resistencia, capacidad de carga, inclinación del asiento, radio de giro, nivel de comodidad, coste, número de elementos, presión de los neumáticos.
- **Función positiva primaria:** Desplazamiento autónomo del usuario.
- **Efectos negativos:** Fuerza requerida, coste de la silla, aumento del volumen del sistema, aumento del peso del sistema.
- **Resultado ideal:** Silla de ruedas que cargue el peso del usuario y el propio y pueda ser conducida con total comodidad por todo tipo de terrenos.

5.2.2.2. Formulación del problema

A continuación, procederemos reformulando el problema en términos de contradicciones físicas, detectando que problemas surgen al mejorar las características técnicas del sistema.

En el caso de la silla de ruedas manual, existen varios problemas de compromiso:

- Si se mejora la resistencia de la silla, incrementa su peso. Si incrementa éste, aumenta el esfuerzo que debe hacer el usuario.
- Si hacemos que tenga sistema de plegado para disminuir su volumen, la resistencia disminuye y la fuerza a realizar aumenta.
- Si la hacemos rígida, la facilidad de almacenamiento cuando no está en uso se complica.
- Si incrementamos el número de elementos y añadimos dispositivos como la palanca de propulsión, el coste y el peso del sistema serán mayores.
- Si disminuimos el volumen de la silla en uso, comprometemos la comodidad del usuario.
- Si reducimos el área de la silla para mejorar su conducción, alteramos su estabilidad a peor.

5.2.2.3. Búsqueda de soluciones ya aportadas al problema

Debemos identificar cuáles son los principios de ingeniería que entran en conflicto. A partir de ellos, es posible encontrar qué principio modificar, qué principio genera un efecto secundario indeseable y, por tanto, formular el conflicto técnico.

A continuación, mostraremos la lista de los 39 parámetros técnicos (elaborada por Altshuller), tachando aquellos de los que podemos prescindir en el diseño y subrayando los más relevantes.

- | | |
|--|--|
| 1. <u>Peso de un objeto en movimiento</u> | 20. Energía consumida por un objeto en reposo |
| 2. <u>Peso de un objeto en reposo</u> | 21. Potencia |
| 3. <u>Longitud de un objeto en movimiento</u> | 22. Consumo de energía |
| 4. Longitud de un objeto en reposo | 23. Consumo de sustancia |
| 5. <u>Área de un objeto en movimiento</u> | 24. Pérdida de información |
| 6. Área de un objeto en reposo | 25. Consumo de tiempo |
| 7. Volumen de un objeto en movimiento | 26. Cantidad de sustancia |
| 8. <u>Volumen de un objeto en reposo</u> | 27. Fiabilidad |
| 9. Velocidad | 28. Precisión de medida |
| 10. <u>Fuerza</u> | 29. Precisión de fabricación |
| 11. Tensión, presión | 30. Factores perjudiciales sobre un objeto |
| 12. <u>Forma</u> | 31. Efectos perjudiciales laterales |
| 13. <u>Estabilidad del objeto</u> | 32. Posibilidad de fabricación |
| 14. <u>Resistencia</u> | 33. Conveniencia de uso |
| 15. Durabilidad de un objeto en movimiento | 34. Facilidad de reparación |
| 16. Durabilidad de un objeto en reposo | 35. Adaptabilidad |
| 17. Temperatura | 36. Complejidad del elemento |
| 18. Brillo | 37. Complejidad de control |
| 19. Energía consumida por un objeto en movimiento | 38. Grado de automatización |
| | 39. Productividad |

5.2.2.4. Búsqueda de soluciones análogas y adaptación al problema

De forma similar que con los Parámetros técnicos, Altshuller elaboró otra lista con sugerencias que ayudan al ingeniero a hallar una solución inventiva al problema. Se trata de la lista de los 40 Principios Inventivos. Mediante la llamada Matriz de contradicciones. Dependiendo de qué parámetros se quieran mejorar y cuáles se tomen por efectos secundarios indeseables, se obtienen diferentes soluciones inventivas.

En la página www.ametriz.com/matriz/MATRIZ.php, podemos introducir los parámetros que queremos mejorar y los parámetros que se van a degradar. Las soluciones inventivas de la lista son las siguientes:

Resistencia – Peso de un objeto en reposo

1. Segmentación

- Incremente un grado la segmentación de un objeto
- Cree un objeto seccionado
- Divida un objeto en partes independientes

26. Copiar

- Use una simple y poco costosa copia en lugar de un objeto que es complejo, costoso, frágil o inconveniente de operar

27. Duración

- Reemplace un objeto costoso por una colección de algunos poco costosos e intercambiable, comprometiendo otras propiedades (longevidad, por ejemplo)

40. Materiales Compuestos

- Reemplace materiales homogéneos con compuestos

Resistencia – Peso de un objeto en movimiento

1. Segmentación

Ya explicado con anterioridad.

8. Contrapeso

- Compensar el peso de un objeto con la interacción con un medio que provea fuerzas aerodinámicas o hidrodinámica
- Compensar el peso de un objeto uniéndolo con otro que tenga una fuerza de empuje

40. Materiales Compuestos

Ya explicado con anterioridad.

15. Dinamismo

- Si un objeto es inamovible, hágalo movable o intercambiable
- Divida un objeto en elementos que puedan cambiar de posición relativa con cada uno.
- Haga características de un objeto, o un ajuste automático del ambiente externo para el desempeño óptimo en cada estación de operación

Estabilidad – Longitud de un objeto en movimiento

13. Inversión

- Voltee el objeto, la parte de arriba hacia abajo.
- Haga una parte movable del objeto o el ambiente exterior inamovible y la parte inmóvil hágala movable
- En lugar de una acción dictada por las especificaciones del problema, implementar una acción opuesta

15. Dinamismo

Ya explicado con anterioridad

1. Segmentación

Ya explicado con anterioridad.

28. Cambio del sistema mecánico

- Use un campo en conjunción con partículas ferromagnéticas.
- Reemplace los campos: 1. Campos estacionarios con campos movibles 2. Acoplados a los que cambian en el tiempo 3. De los aleatorios a los estructurados.
- Use un campo electromagnético, eléctrico o magnético para interacción con el objeto.
- Reemplace el sistema mecánico por uno óptico, acústico u odorífero.

Estabilidad - Área de un objeto en movimiento

2. Extracción

- Extraer únicamente la parte o propiedad necesaria.
- Extracción (remover o separar) una parte o propiedad desordenadora, de un objeto

11. Amortiguamiento Anticipado

- Compensación por la relativa baja confiabilidad de un objeto por medio de contramedidas tomadas en avance

13. Inversión

Ya explicado con anterioridad.

Volumen de objeto en reposo – Forma

7. Anidar

- Colocar los objetos unos dentro de otros.
- Hacer pasar un objeto por la cavidad de otro

2. Extracción

Ya explicado con anterioridad.

Los principios expuestos son sugerencias de cómo resolver los problemas de compromiso que la silla presenta. Muchos de ellos pueden ser aplicables a nuestro diseño, sin embargo, otros muchos no.

El de segmentación no nos facilita una solución adaptada a lo que buscamos. Dividir elementos en varias partes restaría rigidez y resistencia a la silla, por lo que descartamos este principio.

Existen principios como los de “copiar”, “cambiar el sistema mecánico”, “inversión”, “dinamismo” y “contrapeso”, que no nos sirven de gran ayuda, que no nos ayudan a vislumbrar una solución o, simplemente, no son aplicables.

Gracias al principio de “extracción”, se podría plantear la posibilidad de hacer la silla desmontable en lugar de rígida o plegable, permitiendo *que se extraigan las ruedas* para su transporte en un vehículo, por ejemplo.

Del principio de “**anidar**”, se obtiene la idea que anteriormente hemos tenido de un plegado por el interior mediante sistema telescópico, *idea que ya fue descartada*. Sin embargo, se puede plantear la posibilidad de aplicarlo en las palancas de propulsión, aunque, por el momento, *no se ha visualizado utilidad razonable*.

El principio de “**duración**” nos ha dado la idea de coger algún elemento de escasa relevancia del sistema y sustituirlo por otro menos costoso e intercambiable. De esta forma, abarataríamos el producto y quizá le quitaríamos peso. Deberíamos buscar alguna unión o punto estratégico del sistema que no esté sometido a esfuerzos excesivos y *sustituir esa pieza por una menos duradera*.

La “**amortiguación por anticipado**” plantea una medida que compense la baja fiabilidad de la silla, en este caso. Para contrarrestar una baja estabilidad, tendríamos que pensar en algún sistema antivuelco. No obstante, se puede arreglar este problema en gran medida *desplazando el centro de gravedad hacia la parte delantera de la silla*, para evitar que la persona que la use caiga hacia atrás.

El principio de “**materiales compuestos**” se tendrá en cuenta más tarde, en el momento en el que tengamos que elegir el material de la estructura. El aluminio es ligero pero caro, al contrario que el hierro, por lo que optamos por uno de los dos o hallamos la forma de combinar las ventajas de estos dos materiales.

5.3. Evaluación y Selección de Soluciones

Tras la resolución inventiva de problemas, tenemos una visión más clara de lo que será nuestro producto. Hemos visualizado diversas soluciones a los problemas que nos ha planteado el diseño.

Se quiere diseñar una silla de ruedas que ofrezca gran autonomía, ligera, segura, eficiente, cómoda y fácil de usar. Se trata de una silla de uso casi continuo por lo que su plegado no nos es prioritario. Sin embargo, es apropiado al menos un sistema sencillo para desmontarla y poder guardarla o transportarla en un vehículo. De todas estas exigencias tenemos las siguientes propiedades que tendrá nuestra silla:

- El **chasis** de la silla será rígido compuesto por barras de perfil circular. La rigidez del chasis aportará gran resistencia y eficiencia debido a que se trata de una sola pieza y las pérdidas de esfuerzo serán menores. La parte trasera de la estructura tendrá dos empuñaduras de empuje para el posible acompañante que ayude al usuario en el desplazamiento.
- El **respaldo** formará parte del chasis y se diseñará con un ángulo adecuado que proporcionará confort sin comprometer la estabilidad de la silla.
- Las **ruedas traseras** serán fácilmente extraíbles para facilitar un rápido almacenamiento de la silla. Dispondrá de un mecanismo que no requiera de herramientas para realizar dicha extracción. Las ruedas estarán adaptadas mediante una llanta especial de tal manera que permitan alojar dos sistemas de propulsión diferentes (aros de propulsión y palanca de propulsión).

- Las **ruedas delanteras** seguirán la misma línea que se ha ido siguiendo hasta el momento. Dos casters que dirijan el movimiento mediante giros sobre el eje vertical de la silla, perpendicular por necesidad al suelo para su correcto funcionamiento. La eficacia de este sistema está de sobra comprobada en otras sillas, así como en los carros de la compra, por poner ejemplos.
- Las ruedas traseras dispondrán del tradicional **sistema de bloqueo** de brazos articulados. Por medio de una palanca pequeña al lado del asiento se podrá mover una zapata que atraparé la rueda trasera en función de la fuerza aplicada y tendrá un punto en el que se podrá fijar para que se frene totalmente el giro de la rueda.
- El **reposabrazos** tendrá un diseño minimalista a la par que elegante y cumplirá dos funciones. Por un lado, se diseñará a una altura promedio para el perfecto descanso de los brazos. Por el otro, servirá para proteger de posibles atrapamientos del usuario con la rueda en movimiento, ya sea que la ropa se quede enganchada o que una parte toque la rueda y se lastime. Si no compromete la resistencia mecánica del reposabrazos, se le harán unos agujeros que ayuden a disipar el calor acumulado en el asiento para mayor confort del usuario.
- El **reposapiés** también tendrá un diseño minimalista. Se tratará de una sola pieza que permitirá el apoyo de los dos pies y que se extraerá y ajustará de una forma sencilla. Los ajustes respetarán la norma de intervalos de forma que personas con diferente longitud de pantorrilla puedan ajustar la altura del reposapiés para su uso idóneo. Habrá que prestar especial atención a la altura para que guarde cierta distancia con el suelo con el fin de evitar posibles peligros y al radio de giro de las ruedas delanteras las cuales, en caso de diseñarse mal, pueden chocar con el reposapiés.
- La silla contará con dos medios para propulsarse. Uno es el tradicional, los **aros de propulsión**. Estarán enganchados a la rueda mediante tornillos. El otro medio de propulsión son unas **palancas** que simulan el funcionamiento de una llave de carraca. Estará compuesta de un mecanismo de trinquete de dos sentidos que permitirá el desplazamiento hacia adelante y hacia atrás, así como el giro. De esta forma, el usuario se ahorrará esfuerzo. Se diseñará la silla de forma que se puedan usar los dos sistemas a la vez o por separado. La palanca se podrá extraer con facilidad si la situación requiere mayor ligereza y menor volumen. En cambio, si se trata de un paseo duradero y en espacios más amplios, la persona que use la silla gastará menos energía con el segundo sistema. También se dispondrá de un **sistema de frenado** a través de cable Bowden (similar al de la bicicleta) cuyo fin será desacelerar o frenar la silla sin que sea necesario tocar la rueda.



CAPÍTULO 6: ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)

CAPÍTULO 6:

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)

El análisis modal de fallos y efectos, también conocido por la forma abreviada AMFE, tiene como finalidad prever los posibles fallos de funcionamiento que pueda tener el producto antes de que éste sea producido.

En términos de diseño de producto, un fallo supone que un componente o un sistema no funcionen de acuerdo con la especificación. Esta puede ser de cualquier tipo (dimensiones, cargas soportadas, acabado...), y dependiendo de su importancia y su repercusión en el usuario, la falta de satisfacción puede suponer el fracaso del producto. Un fallo no debe ser evidente para el usuario.

El modo fallo, por otro lado, es el modo en que se produce el fallo de un componente o sistema, la manera en que un sistema no satisface la especificación dada. Un modo de fallo se produce entre una causa y un efecto. En la mayoría de sistemas una única causa puede tener efectos múltiples o viceversa.

El AMFE es una técnica iterativa que promueve pensamiento sistemático en el desarrollo de un nuevo producto, centrándose en cuestiones tales como: ¿Qué puede salir mal? ¿En qué grado puede salir mal? ¿Cómo evitar que salga mal?

Analizando adecuadamente el producto, podemos responder dichas preguntas y, para ello, los elementos claves a estudiar son:

- Definir el alcance y la función del producto analizado, generalmente mediante el análisis funcional.
- Identificar los fallos potenciales de forma gradual.
- Priorizar los fallos según aspectos como la seguridad, los costes, etc.
- Preparar un plan de control para prevenir o reducir el riesgo de fallo.
- Mantener una base de datos actualizada con los resultados de cada producto.
- Documentar los procesos en un formato accesible para futuros equipos de diseño.

A continuación, seguiremos una serie de pasos específicos para llevar a cabo el AMFE.

6.1. Elaboración del AMFE

6.1.1. Definir el Producto en Términos de Sistema

En esta etapa se deben definir las funciones objetivo, ya que se valora más o menos el riesgo de un fallo dependiendo de la importancia que tenga la función a la que afecte, y los límites del sistema, de cómo interactúa con otros ajenos a él. En el PCF realizado anteriormente, queda bien explicado cuáles son las funciones prioritarias, así como el entorno con el que interactúa la silla y sus límites.

6.1.2. Subdividir el Sistema por Funciones para el Análisis

Ahora definimos los elementos del sistema para obtener la estructura para realizar el AMFE. Nuestra silla de ruedas se compone de los siguientes:

- Chasis
- Asiento
- Respaldo
- Ruedas delanteras
- Ruedas traseras
- Palanca de propulsión
- Reposabrazos
- Reposapiés
- Manillar de empuje
- Sistema de bloqueo

Cada uno de estos elementos puede presentar una serie de fallos que pueden ser de mayor o menor importancia y pueden afectar más o menos al funcionamiento correcto de otros elementos. Por eso, debemos estudiarlos individualmente.

6.1.3. Identificar los modos potenciales de fallo para elementos del sistema

Para hallar los fallos potenciales de nuestro producto, debemos contestar a las siguientes preguntas:

- ¿Qué puede ocurrir si esta función falla?*
- ¿Qué puede ocurrir si esta función falla antes o después de otra acción determinada?*
- ¿Qué puede ocurrir si esta función no es realizada en la secuencia correcta?*
- ¿Qué puede ocurrir si esta función no se realiza correctamente?*
- ¿Qué puede ocurrir si esta función no se lleva a cabo en la cantidad correcta?*

Debemos darnos cuenta de que, en la gran mayoría de casos, un producto comienza a fallar por un uso excesivo, por un uso indebido del producto o por someter al producto a condiciones extremas. En este caso, las ruedas de las sillas pueden empezar a fallar si se emplea demasiado a menudo para bajar escalones, lo que supone un gran esfuerzo al sistema, especialmente a las ruedas. El sistema de propulsión también puede presentar sus fallos si se emplea con excesiva brusquedad o no se hace como es debido. No preocuparse por el mantenimiento de la silla puede hacer que el sistema de frenado no funcione bien y perjudique a otros elementos.

El asiento, las ruedas y el sistema de bloqueo y frenado son los elementos más perjudicados. Poseen una vida corta porque sobre ellos se ejecutan muchos esfuerzos. Su continuo uso hace que, con el tiempo, sean los primeros en fallar. No disponemos de estudios sobre la palanca de propulsión pero suponemos que requerirá un cuidado minucioso para no presentar fallos de forma prematura.

En caso de que se le aplique demasiada carga, o la silla sea sometida a muchos impactos, el chasis también sufrirá por el uso incorrecto de la silla.

6.1.4. Identificar el Efecto Potencial de Cada Fallo

En esta etapa debemos hallar los efectos que generaría un fallo en cada función del producto. Especificar, en caso de que se produzca un fallo de un componente o de una función, las consecuencias que acarrearían, ya sean las inmediatas como las que se produzcan a través de la primera.

Si falla el movimiento lineal y de giro de la silla, el producto entero perdería su valor y ya no se podría hacer uso de ella. Debemos centrarnos en esta función puesto que es la primordial. Es de las últimas que deberían fallar. Si, aunque no lo haga de forma independiente, el usuario se movería gracias a otra persona que la empuja, aún podría tener uso el producto.

Si falla su seguridad o comodidad, el usuario podría presentar lesiones y sólo usaría la silla en situaciones extremas.

Si el innovador sistema de propulsión falla, el producto pierde su valor innovador, la idea por la que era especial, pero sigue siendo posible su uso.

6.1.5. Estimar una Severidad o un Peligro para cada Efecto

Los fallos se pueden clasificar según la probabilidad o frecuencia con que se den y según la gravedad de sus consecuencias. Para su clasificación se recurrirá a estas tablas:

FRECUENCIA DE FALLO		
Descripción	Nivel	Vida del elemento
Frecuente	A	Es probable que ocurra con frecuencia
Probable	B	Puede ocurrir varias veces durante la vida del elemento
Ocasional	C	Puede ocurrir alguna vez durante la vida del elemento
Posible	D	Es poco probable que ocurra
Improbable	E	Tan poco probable que puede asumirse que no va a ocurrir

CONSECUENCIA DE LA OCURRENCIA DEL FALLO		
Descripción	Categoría	Definición
Catastrófico	I	Fallo completo del producto y/o peligro muy grave del usuario
Crítico	II	Graves daños en el sistema y/o peligro grave del usuario
Marginal	III	Daños menores en el producto y/o bajo riesgo para el usuario
Aceptable	IV	Daños poco importantes, no hay riesgo para el usuario

MATRIZ DE EVALUACIÓN DEL RIESGO				
Frecuencia	Categoría de fallo			
	I	II	III	IV
A	1	3	7	13
B	2	5	9	16
C	4	6	11	18
D	8	10	14	19
E	12	15	17	20
Índice de riesgo		Criterio		
1-5		Inaceptable		
6-9		Indeseable		
10-17		Aceptable con revisión del diseño		
18-20		Aceptable sin revisión del diseño		

Por tanto, en función de lo crítico que sea el fallo y la probabilidad estimada de que ocurra, se asigna un criterio para cada modo de fallo. A continuación, se calcula el Número de Prioridad de Riesgo (NPR), que es el producto de la probabilidad de fallo, la consecuencia y la probabilidad de detección (probabilidad de que el fallo no se detecte y llegue al cliente).

Primero, se asigna un criterio para cada modo de fallo, dependiendo de lo crítico que sea éste y de la probabilidad estimada de que ocurra. Después se calcula el Número de Prioridad de Riesgo (NPR), que es el producto de la probabilidad de fallo, la consecuencia y la probabilidad de detección (probabilidad de que el fallo no se detecte y llegue al cliente).

El NPR se calculará para todas las posibles causas de fallo, y se hará empleando la tabla de ponderaciones de frecuencia y consecuencia. Se establecen los números asignados a las frecuencia de fallo y a la gravedad de la consecuencia, que multiplicados por el factor de detección otorgarán una idea de la prioridad del modo de fallo.

Consideraremos como inaceptable aquellos modos de fallo cuyo NPR sea superior a 150 (perceptible, probable y crítico) e indeseable a los que tengan un NPR entre 100 y 150 (ligeramente perceptible, ocasional y marginal).

PONDERACIONES DE FRECUENCIA Y CONSECUENCIA			
Frecuencia		Consecuencia	
A	9-10	I II III IV	
B	7-8		9-10
C	4-6		7-8
D	2-3		4-6
E	1		1-3

DETECCIÓN DE FALLO		
Descripción	Definición	Ponderación
Muy perceptible	Se aprecia mucho a simple vista y/o al usarlo, y/o el fallo ocurre con mucha frecuencia	9-10
Perceptible	Se aprecia con el uso y/o a simple vista, el fallo ocurre en ocasiones	6-8
Ligeramente perceptible	Apenas se nota al usarlo y/o al examinarlo, ocurre con poca frecuencia	3-5
Imperceptible	Pasa totalmente desapercibido para el usuario	1-2

6.1.6. Elaboración de la Matriz de Fallos y Efectos

Planteamos una matriz en la que se comparan las distintas partes del producto frente a posibles modos de fallo, con el fin de localizar las piezas críticas. De esta forma, podremos ver qué fuerza presentan las relaciones entre cada elemento y los modos de fallo. Los pasos a seguir para construir la matriz son:

- Puntuar según la relación de cada pieza y el modo de fallo. La puntuación es de 9 (relación fuerte), 3 (posible relación) y 1 (baja relación).
- Aplicar peso a cada parte en función de su importancia, usando una escala del 1 (mínimo peso) al 10 (máximo peso).
- Multiplicar el peso de cada parte por su factor de relación con cada modo de fallo.
- Sumar horizontalmente para obtener un factor total frente a fallos.
- Representar mediante porcentaje cada factor total frente al conjunto de éstos. Las piezas con mayores porcentajes son las que más deben estudiarse.

6.1.7. Determinar la Causa de Modo de Fallo

Además de identificar las piezas críticas respecto a los modos de fallo, debemos saber también encontrar el origen de los modos de fallo. Las causas pueden encontrarse en las siguientes áreas:

- Deficiencias del diseño: el diseño se fabrica como se ha especificado, pero falla desde su concepción.
- Deficiencias de fabricación: el producto no se fabrica según las especificaciones.
- Deficiencias del proceso de ensamblaje: similares a las de fabricación.

6.1.8. Fijar las Acciones Correctivas

Debemos plantear los mecanismos, los procedimientos, los métodos de prueba, o los controles para prevenir la causa del modo de fallo en el producto. Por la simple razón de que esto es más adecuado hacerlo antes de concretar las características de producto, para erradicar posibles fallos en la medida de lo posible, el AMFE debe realizarse antes del diseño en detalle.

6.1.9. Desarrollar el Plan de Acción

Una vez conocidas las posibilidades de fallo y las consecuencias de las mismas, hay que desarrollar acciones a través del rediseño del producto para contrarrestarlas. Algunas alternativas son:

- Aumentar probabilidad de detección de fallos
- Hacer más fácil de percibir el modo de fallo
- Cambiar procedimientos de mantenimiento
- Reducir la probabilidad de ocurrencia
- Eliminar funciones
- Cambiar el diseño para eliminar la causa
- Cambiar el diseño para desacoplar la causa del efecto
- Reducir las severidad de la consecuencia
- Reducir la severidad del efecto

6.2. Resultado del AMFE

A continuación, se muestran en unas tablas la información y los resultados obtenidos en el AMFE. Para designar el grado de riesgo se empleará la letra G, para la probabilidad de ocurrencia la letra O y para la probabilidad de detección la letra D.



NOMBRE DEL PRODUCTO		SILLA DE RUEDAS			Equipo de Diseño			Pág. N° 1 de 10	
								N° AMFE	1
								Fecha	28/10/13
Sistema y Función	Modo de Fallo Potencial	Efectos Potenciales de Fallo	G	Causas Potenciales de Fallo	O	Controles Actuales del Diseño	D	Acciones Recomendadas	
CHASIS: Dar rigidez estructural al conjunto y proporcionar seguridad al usuario	Rotura del chasis	Inutilización de la silla	9	Dimensionamiento erróneo	2		4	Mayorar cargas en el diseño	72
				Material defectuoso	2		3		54
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	2		8	Material más resistente	144
				Soldadura mal hecha	3		5	Ensayos de resistencia	135
				Fatiga del metal	4		4		144
	Deformación del chasis	Disminución de la estabilidad y de la seguridad , además de un mal funcionamiento	8	Dimensionamiento erróneo	2		3	Mayorar cargas en el diseño	48
				Proceso de fabricación	3		4		96
				Material defectuoso	2		2	Material más resistente	32
				Fatiga del metal	2		4	Ensayos de resistencia	64
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	6		4		192
	Aparición de grietas en la estructura	Disminución de la seguridad	7	Dimensionamiento erróneo	2		3		42
				Proceso de fabricación	4		3		84
				Material defectuoso	2		3		42
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	2		6		84



NOMBRE DEL PRODUCTO		SILLA DE RUEDAS			Equipo de Diseño			Pág. Nº 2 de 10	
								Nº AMFE	1
								Fecha	28/10/13
Sistema y Función	Modo de Fallo Potencial	Efectos Potenciales de Fallo	G	Causas Potenciales de Fallo	O	Controles Actuales del Diseño	D	Acciones Recomendadas	NPR
ASIENTO: Soportar al usuario sentado sobre él y proporcionarle comodidad	Rotura total de la tela de sujeción	Inutilización temporal de la silla (hasta efectuar recambio)	7	Material defectuoso	2		5	Aumento del control del proceso	70
				Tensión de la tela inadecuada	2		5	Ensayos de resistencia	70
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	4		6		168
	Rotura parcial de la tela de sujeción	Disminución de la seguridad y puede que la comodidad	6	Material defectuoso	4		2	Aumento del control del proceso	56
				Tensión de la tela inadecuada	3		3	Ensayos de resistencia	63
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	7		4		168
	Rotura del acolchado	Pérdida del confort y posible aparición de daños leves en el usuario	5	Material poco resistente	5		3	Ensayos de resistencia	75
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	7		4		140



NOMBRE DEL PRODUCTO		SILLA DE RUEDAS				Equipo de Diseño		Pág. N° 3 de 10	
								N° AMFE	1
								Fecha	28/10/13
Sistema y Función	Modo de Fallo Potencial	Efectos Potenciales de Fallo	G	Causas Potenciales de Fallo	O	Controles Actuales del Diseño	D	Acciones Recomendadas	NPR
RESPALDO: Permitir el reposo lumbar del usuario	Rotura total de la tela de sujeción	Inutilización temporal de la silla (hasta efectuar recambio)	7	Material defectuoso	2		3		47
				Tensión de la tela inadecuada	2		3		47
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	3		4		84
	Deformación del respaldo	Disminución de la seguridad y puede que la comodidad	6	Proceso de fabricación	2		3		36
				Material defectuoso	2		4		48
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	2		5		60
	Rotura parcial de la tela de sujeción	Disminución de la seguridad y puede que la comodidad	5	Material defectuoso	3		2		30
				Tensión de la tela inadecuada	4		3		60
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	6		3		90



NOMBRE DEL PRODUCTO		SILLA DE RUEDAS			Equipo de Diseño			Pág. N° 4 de 10	
								N° AMFE	1
								Fecha	28/10/13
Sistema y Función	Modo de Fallo Potencial	Efectos Potenciales de Fallo	G	Causas Potenciales de Fallo	O	Controles Actuales del Diseño	D	Acciones Recomendadas	NPR
RUEDAS DELANTERAS: Soportar parte del peso del sistema y dirigir el movimiento	Deformación de una rueda	Dificultades de uso de la silla.	7	Material defectuoso	1		6		42
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	1		7		49
	Pérdida de una rueda	Inestabilidad y desgaste excesivo del resto	7	Montaje erróneo	1		9		63
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado			9		63
	Juego en el rodamiento	Dificultad para hacer rodar la silla	6	Rodamiento defectuoso	3		2		36
				Rodamiento insuficiente	2		2		24
	Falta de apoyo de una rueda	Inestabilidad y desgaste excesivo del resto	5	Montaje erróneo	3		2		30
				Pieza defectuosa	2		2		20
	Bloqueo de una rueda	Serias dificultades en el uso de la silla	6	Inclusión de partículas en el rodamiento	6		4		144
	Bloqueo del rodamiento de dirección	Pérdida de la direccionalidad de la silla	6	Rodamiento defectuoso	2		6		72



NOMBRE DEL PRODUCTO		SILLA DE RUEDAS			Equipo de Diseño			Pág. Nº 5 de 10	
								Nº AMFE	1
								Fecha	28/10/13
Sistema y Función	Modo de Fallo Potencial	Efectos Potenciales de Fallo	G	Causas Potenciales de Fallo	O	Controles Actuales del Diseño	D	Acciones Recomendadas	NPR
RUEDAS TRASERAS: Permitir el desplazamiento de la silla, amortiguar accidentes y soportar el sistema	Deformación de las ruedas traseras	Inutilización de la silla hasta recambio de la rueda	9	Material defectuoso	1		7		63
				Dimensionamiento erróneo	1		6		54
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	2		8		144
	Deformación del eje	Mal funcionamiento durante su uso	9	Material defectuoso	1		6		54
				Dimensionamiento erróneo	1		6		54
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	2		7		126
	Pinchazo en el neumático	Disminución considerable de la eficiencia de movimiento	5	Material defectuoso	2		5		50
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	4		5		100
	Desgaste prematuro del neumático	Ligera disminución de la eficiencia en el movimiento	4	Material defectuoso	4		2		32
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	9		2		72



NOMBRE DEL PRODUCTO		SILLA DE RUEDAS			Equipo de Diseño			Pág. Nº 6 de 10	
								Nº AMFE	1
								Fecha	28/10/13
Sistema y Función	Modo de Fallo Potencial	Efectos Potenciales de Fallo	G	Causas Potenciales de Fallo	O	Controles Actuales del Diseño	D	Acciones Recomendadas	NPR
PALANCAS DE PROPULSIÓN: Convertir la fuerza del usuario en movimiento y dirigir la silla	Rotura del mecanismo interior del sistema	Inutilización del sistema de propulsión hasta realizar una reparación costosa	8	Material defectuoso	2		5	Control de calidad	80
				Dimensionamiento erróneo	1		6		48
				Proceso de fabricación y montaje	2		6		96
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	4		6		192
	Bloqueo del mecanismo	Inutilización del sistema de propulsión hasta realizar una reparación	5	Proceso de fabricación y montaje	1		6	Insertar una medida antibloqueo	36
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	4		6	Control de calidad	120

NOMBRE DEL PRODUCTO		SILLA DE RUEDAS				Equipo de Diseño		Pág. N° 7 de 10	
								N° AMFE	1
								Fecha	28/10/13
Sistema y Función	Modo de Fallo Potencial	Efectos Potenciales de Fallo	G	Causas Potenciales de Fallo	O	Controles Actuales del Diseño	D	Acciones Recomendadas	NPR
REPOSABRAZOS: Permitir el descanso de los brazos y proteger al usuario del giro de las ruedas	Rotura del reposabrazos	Puesta en peligro de la seguridad del usuario por estar expuesto a las ruedas	9	Material defectuoso	1		7		63
				Proceso de fabricación	1		6		54
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	1		9		81
	Desencaje de la unión reposabrazos-chasis	Disminuye la seguridad y la comodidad del usuario	6	Proceso de fabricación	2		5		60
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	3		5		90
	Deformación del reposabrazos	Dificultad en el giro de las ruedas y funcionamiento general de la silla	7	Material defectuoso	2		6		84
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	3		7		147



NOMBRE DEL PRODUCTO		SILLA DE RUEDAS			Equipo de Diseño			Pág. N° 8 de 10	
								N° AMFE	1
								Fecha	28/10/13
Sistema y Función	Modo de Fallo Potencial	Efectos Potenciales de Fallo	G	Causas Potenciales de Fallo	O	Controles Actuales del Diseño	D	Acciones Recomendadas	NPR
REPOSAPIÉS: Permitir el apoyo de los pies	Rotura de los reposapiés	Posibles daños en los pies del usuario	8	Material defectuoso	1		6		48
				Dimensionamiento erróneo	1		6		48
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	1		7		56
	Holgura en las uniones	Aumento de vibraciones	6	Fabricación y/o montaje erróneo/s	3		5		90
				Mal mantenimiento del usuario	3		5		90
	Deformación de los reposapiés	Posibles daños leves en los pies del usuario	6	Material defectuosos	1		6		36
				Dimensionamiento erróneo	1		6		36
				Proceso de Fabricación	2		6		72
				Uso indebido	2		6		72
	Rotura de la cinta de sujeción	Desaparece el soporte de las piernas, por lo que se pone en peligro la comodidad y la seguridad (hasta su reparación, sencilla y económica)	4	Tensión indebida	2		7	Material resistente	56
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	3		7	Control de calidad Ensayos de resistencia	84



NOMBRE DEL PRODUCTO		SILLA DE RUEDAS			Equipo de Diseño			Pág. N° 9 de 10	
								N° AMFE	1
								Fecha	28/10/13
Sistema y Función	Modo de Fallo Potencial	Efectos Potenciales de Fallo	G	Causas Potenciales de Fallo	O	Controles Actuales del Diseño	D	Acciones Recomendadas	NPR
Manillar de empuje	Rotura de la goma	Pérdida de agarre y de la comodidad	3	Material defectuoso	2		8		48
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	4		8		96
	Desgaste prematuro de la goma	Pérdida de la adherencia de agarre	3	Material defectuoso	3		5		45
				Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	6		5		90



NOMBRE DEL PRODUCTO		SILLA DE RUEDAS			Equipo de Diseño			Pág. N° 10 de 10	
								N° AMFE	1
								Fecha	28/10/13
Sistema y Función	Modo de Fallo Potencial	Efectos Potenciales de Fallo	G	Causas Potenciales de Fallo	O	Controles Actuales del Diseño	D	Acciones Recomendadas	NPR
SISTEMA DE BLOQUEO: Mantener fijas las ruedas traseras para impedir el movimiento de la silla	Desgaste prematuro de la zapata	Pérdida de la eficiencia del bloqueo	4	Material inadecuado	3		5	Piezas de recambio incluidas	60
				Uso indebido	5		4	Material más resistente	80
	Holgura del mecanismo articulado	Inutilidad del sistema de bloqueo	4	Piezas defectuosas	3		6		72
				Uso excesivo	4				96

6.3. Conclusiones del AMFE

Tal como hemos dicho antes:

“Consideraremos como inaceptable aquellos modos de fallo cuyo NPR sea superior a 150 (perceptible, probable y crítico) e indeseable a los que tengan un NPR entre 100 y 150 (ligeramente perceptible, ocasional y marginal).”

Por tanto, de las tablas del AMFE prestamos especial atención a los siguientes modos de fallo.

Sistema	Modo de fallo	Causas potenciales	GxOxD=NPR	Riesgo
Chasis	Rotura del chasis	Soldadura mal hecha	9x3x5=135	Indeseable
		Fatiga del metal	9x4x4=144	Indeseable
	Deformación del chasis	Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	8x6x4=192	Inaceptable
Asiento	Rotura total de la tela de sujeción	Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	7x4x6=168	Inaceptable
	Rotura parcial de la tela de sujeción	Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	6x7x4=168	Inaceptable
	Rotura del acolchado	Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	5x7x4=140	Indeseable
Ruedas delanteras	Bloqueo de una rueda	Inclusión de partículas en el rodamiento	6x6x4=144	Indeseable
Ruedas traseras	Deformación de las ruedas traseras	Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	9x2x8=144	Indeseable
	Deformación del eje	Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	9x2x7=126	Indeseable
	Pinchazo en el neumático	Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	5x4x5=100	Indeseable
Palanca de propulsión	Rotura del mecanismo interior del sistema	Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	8x4x6=192	Inaceptable
	Bloqueo del mecanismo	Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	5x4x6=120	Indeseable
Reposabrazos	Deformación del reposabrazos	Condiciones de uso excepcionales o fuera del rango esperado	7x3x7=147	Indeseable

Como se puede apreciar, existen 3 modos de fallo inaceptables

La **deformación del chasis** puede causar problemas graves de estabilidad o movimiento, y puede originar rotura a largo plazo. Si el usuario carga la silla con más peso del que debería o el mismo chasis sufre algún impacto fuerte se podría producir este fallo. Las medidas del chasis, así como la distribución de cargas, material y dimensiones de perfil, son factores clave para hacer disminuir el riesgo de deformación. La rotura del chasis, aunque más grave, es un fallo menos probable. No obstante, se precisará de un control de calidad que compruebe el buen estado de las soldaduras y, en el diseño, se prevendrá los posibles daños por fatiga de la estructura, aunque puede no ser necesario por la poca frecuencia con la que se ve sometida a estos esfuerzos.

La **rotura parcial o total de la tela** del asiento no son fallos que afecten demasiado al producto, puesto que se puede cambiar con facilidad. No obstante, debemos elaborar la tela y el acolchado con materiales de calidad que ofrezcan gran resistencia para darles la mayor vida útil posible.

El **bloqueo de las ruedas delanteras** se puede corregir con un buen diseño, ya sea dimensionando correctamente el caster o protegiendo los rodamientos para impedir que les entren partículas.

En cuanto a las ruedas traseras, el hecho de que **se pinche el neumático** se puede solucionar con otro de repuesto pero intentaremos que no sea necesario con neumáticos de gran calidad. Se realizará un estudio para evitar la deformación del eje o de la llanta.

La palanca de propulsión es el elemento innovador que ofrecemos. Habrá que evitar la **rotura del mecanismo interior** con un análisis a fatiga y distribuir sus componentes de forma que no se bloquee.

El reposabrazos soportará el peso del usuario cuando se quiera levantar de la silla, por lo que habrá que diseñarlo de forma que soporte ese esfuerzo.





CAPÍTULO 7: DISEÑO EN DETALLE

CAPÍTULO 7: DISEÑO EN DETALLE

Esta fase del proceso de diseño, es en la que el producto adquiere forma definitiva en un nivel de detalle absoluto. Es decir, se determinarán todas y cada una de las piezas que forman parte de la silla de ruedas, así como sus dimensiones, su apariencia y los materiales de que estarán hechas. Debido a la importancia y complejidad de esta tarea, el diseño en detalle requiere una mayor dedicación y se destinará la mayor parte de tiempo y trabajo.

Todo lo que se desarrolle en el diseño en detalle estará basado en la información y los resultados obtenidos hasta el momento. Además hay que tener en cuenta las relaciones existentes entre los distintos componentes ya que el diseño de unos puede influir fuertemente en el diseño del resto. Por tanto se partirá de las restricciones más generales y los componentes de con mayor grado de influencia, para dar adentrarse después en aquellos de menos peso. Para definir todos ellos habrá que tener en cuenta múltiples campos: ergonomía, resistencia mecánica, resistencia química, impacto medioambiental y económico, estética...

7.1. Restricciones generales

Es fundamental establecer una serie de límites en el diseño para que las funciones del producto se cumplan con creces.

La función de la silla es la de transportar autónoma y manualmente a una persona con discapacidad en las piernas. Por esa misma razón, por el hecho de ser empujada por una persona, factores como el peso y el volumen han de ser controlados, así como la fuerza que se debe realizar para empujarla.

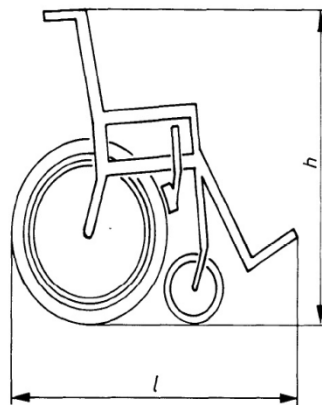
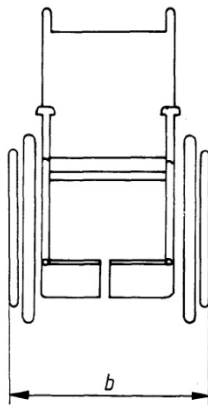
7.1.1. Envolvertes

La silla de ruedas deberá desplazarse perfectamente por interiores y exteriores. Con el fin de que su maniobrabilidad sea adecuada impondremos límites en sus dimensiones totales.

Éstas condicionan gran parte de su funcionamiento:

- La longitud de la silla afecta al radio de giro y, por tanto a su maniobrabilidad. A mayor longitud, peor maniobrabilidad pero mayor estabilidad.
- La anchura afecta al paso por caminos estrechos, tales como puertas o pasillos. A mayor anchura, menor accesibilidad, pero si el usuario padece exceso de peso será más cómoda. Si la anchura tiene un valor muy bajo, comprometerá la comodidad del usuario.
- La altura influye en el empuje por una tercera persona, así como en el centro de gravedad y en la estabilidad.

Según la norma **UNE 111915:1991** los valores máximos de las dimensiones totales de la silla son:



LONGITUD	l	1200 mm
ANCHURA	b	700 mm
ALTURA	h	1090 mm

7.1.2. Estudio antropométrico

Se ha realizado un estudio que indica la tendencia al uso de la silla, en el caso de los hombres, se presenta más marcada entre las personas entre los 21 y 30 años, con un porcentaje un poco menor se encuentran las personas cuyas edades oscilan entre los 51 y 60 años. Las personas que presentaron un índice mucho menor en el uso de la silla fueron las que tienen de 18 a 21 años de edad. Aunque cabe señalar que este rango es considerablemente menor que los demás.

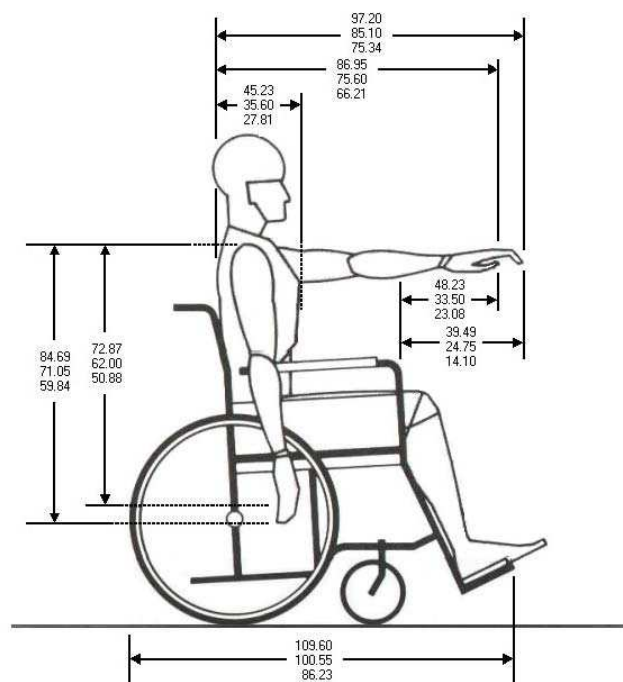
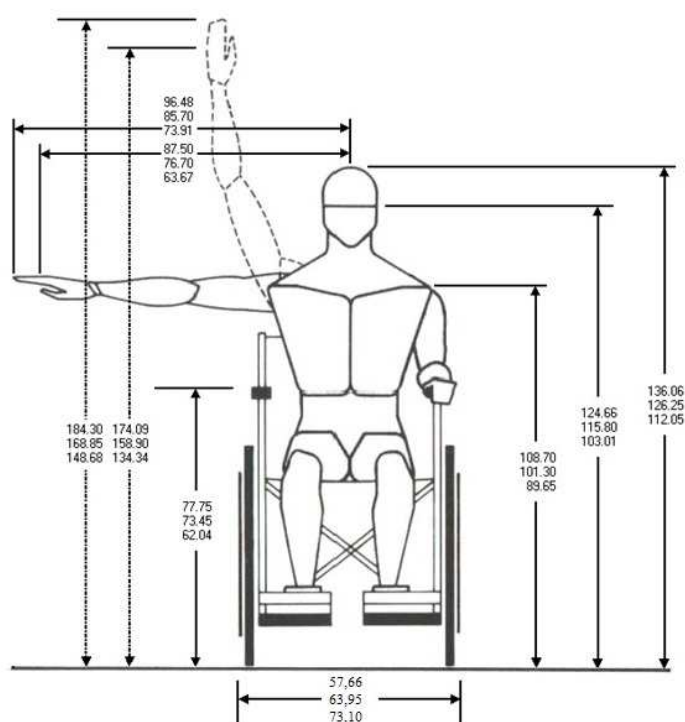
Con relación a las mujeres, se encontró también que las personas que hacen uso de la silla de ruedas tienen de 51 a 60 años; sin embargo es porcentaje es menor que el que presentaron los hombres. El segundo segmento de la muestra que presentó mayor tendencia fue el de las personas cuyas edades se encuentran entre los 41 a 50 años de edad. Finalmente, al igual que en el caso de los hombres, el segmento que presentó un porcentaje más pequeño fue el de las personas que tienen de 18 a 20 años de edad.

Para concluir, hemos desarrollado unas tablas en las que aparecen los percentiles y los promedios de las medidas corporales, en términos generales.

Carta antropométrica de personas que sufren de paraplejia crucial

PERCENTIL	MEDIDAS CORPORALES (1ª Parte)						
	Alcance hacia arriba		Del suelo a la cabeza	Altura al ojo	Altura al hombro	Alcance abajo	
	Dedo	Puño				Dedo	Puño
5	148,68	134,34	112,05	103,01	89,65	59,84	50,88
50	168,85	158,90	126,25	115,80	101,30	71,05	62,00
95	184,30	174,09	136,06	124,66	108,70	84,69	72,87
Promedio	167,81	157,59	125,55	114,94	100,32	71,40	62,12

PERCENTIL	MEDIDAS CORPORALES (2ª Parte)						
	Alcance hacia delante		Longitud antebrazo		Alcance lateral		Profundidad del tronco
	Dedo	Puño	Dedo	Puño	Dedo	Puño	
5	75,34	66,21	23,08	14,10	73,91	63,67	27,81
50	85,10	75,60	33,50	24,75	85,70	76,70	35,60
95	97,20	86,95	48,23	39,49	96,48	87,50	45,23
Promedio	85,42	76,06	34,73	26,23	85,36	76,43	35,86



De las medidas corporales, obtenemos unos valores para ciertas medidas de la silla, la altura del reposabrazos, la longitud total y el ancho total.

PERCENTIL	MEDIDAS DE LA SILLA DE RUEDAS		
	Altura del reposabrazos	Longitud total	Ancho total
5	62,04	86,23	57,66
50	73,45	100,55	63,95
95	77,75	109,60	73,10
Promedio	71,68	99,78	64,61

Observando los promedios, hemos de fijar unos valores en las dimensiones de la silla:

- La **altura del reposabrazos** tiene un promedio de 71,68, por lo que la medida a la que queremos aspirar en el diseño será de, aproximadamente, **72 cm**, con el fin de que los brazos descansen mejor sobre este apoyo y no dejar caer demasiado los hombros para ello.
- Con el fin de hacer una medida más exacta, la **longitud de la silla**, rondará el valor de **100 cm**, más tarde veremos si reducimos o aumentamos el valor, beneficiando su maniobrabilidad o estabilidad, respectivamente.
- El valor de la anchura es más difícil de prever puesto que el valor promedio se acerca mucho al límite fijado por la norma y, además, debemos establecer previamente la anchura de las ruedas y del asiento, puesto que este último afecta a la comodidad del usuario. Si conseguimos que la **anchura total de la silla no sobrepase los 65 cm**, es probable que el funcionamiento de la silla pueda ser el óptimo, garantizando un fácil acceso por puertas y, a su vez, el confort del usuario.

7.1.3. Estudio ergonómico

La capacidad para funcionar de una manera eficaz y realizar actividades depende de la habilidad para adoptar la postura apropiada.

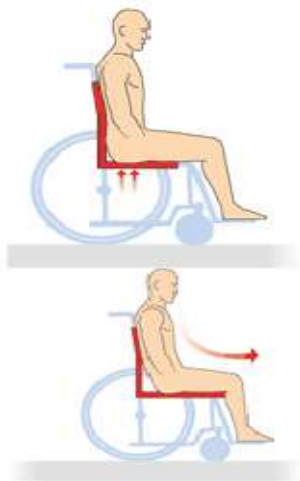
Una silla de ruedas solamente será de utilidad para su usuario si le proporciona comodidad y una base de asiento estable que le permita:

- Sentarse erguido en una posición sentada simétrica.
- Conseguir la máxima capacidad funcional con el mínimo gasto de energía.
- Reducir la presión que soporta en las nalgas y muslos.

A continuación, pasaremos a realizar un análisis de los distintos factores de los que depende que la persona que emplee la silla pueda adoptar la posición adecuada para conseguir estas metas anteriormente mencionadas.

Tamaño del asiento

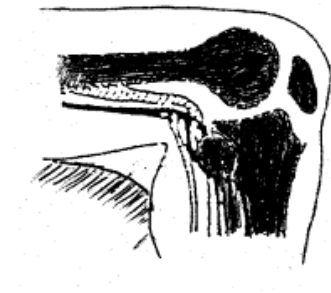
El tamaño del asiento afecta a la estabilidad de la silla, además de afectar a la presión que se ejerce en las nalgas del usuario.



Con un asiento demasiado ancho se corre el riesgo de que el usuario no se siente de forma simétrica, lo que hará que adopte una mala postura. No obstante, si es demasiado estrecho, el área de apoyo se reducirá por lo que aumentará la presión y posibilidad de que aparezcan escaras como consecuencia de ello.

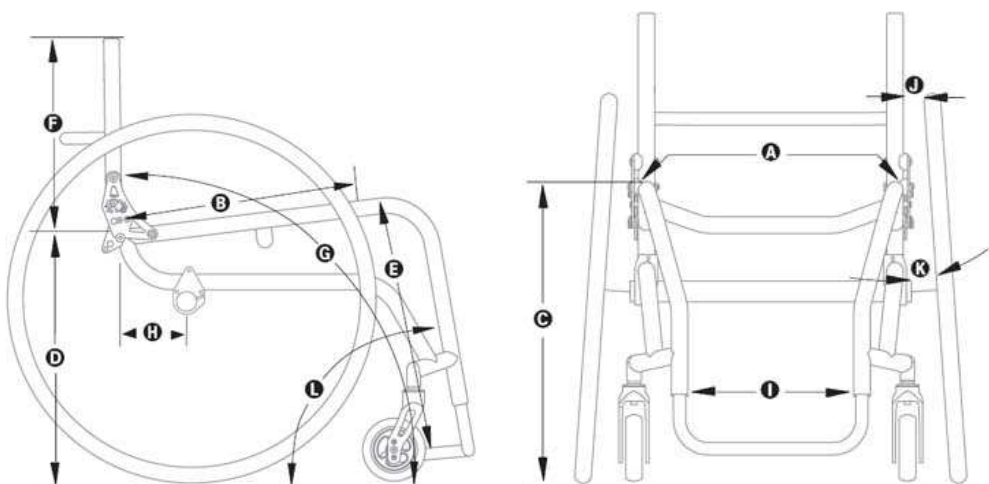
Si el asiento es demasiado corto, los muslos no se apoyan en el asiento en toda su longitud de forma que se acumula mayor presión en las nalgas. Si es demasiado largo, se puede producir tensión en la zona poplítea, es decir, la zona detrás de las rodillas.

Si el labio anterior presiona sobre la zona poplítea comprime las venas y arterias (que pasan por la parte posterior de la pierna y muslo), interrumpiendo la circulación sanguínea, además de dar una sensación muy molesta, si para evitar esto el usuario se desplaza hacia delante, la espalda se retira del respaldo, quedando sin apoyo.



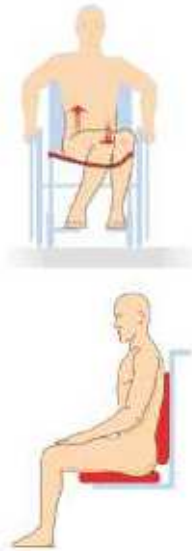
Es bastante común ver gente que llevan una profundidad de asiento mucho mayor que la de su cojín y esto es un error. La profundidad del asiento debe ser más o menos la misma que la del cojín y acorde a la longitud de la pierna. La longitud óptima del asiento debe ser aquella que, estando el usuario sentado de forma erguida, exista una distancia aproximada de dos o tres dedos (3-5 cm) de espacio entre el final del asiento y la zona poplítea. Por otro lado, la anchura adecuada será aquella que permita una distancia de unos dos dedos entre muslo y el extremo del asiento donde se sitúa el reposabrazos.

En conclusión, la anchura (representada en el esquema como A) del asiento estará entre aproximadamente los 40 y los 50 cm, mientras que su longitud (representado como B) estará comprendida entre los 38 y 48 cm.

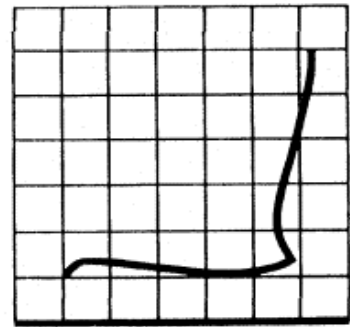


Forma y ángulo del asiento

El asiento debe ser firme y estar nivelado. Una tapicería de asiento hundida provocará que el usuario se siente de forma asimétrica haciendo que los muslos y las rodillas se empujen.

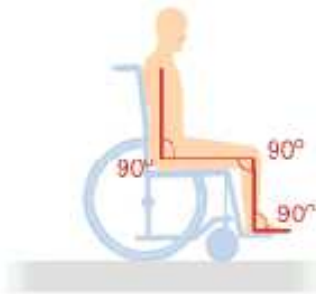


Cuando se mantiene una buena postura, el ángulo (entre los muslos y el tronco) es fundamental ya que determina la estabilidad de la pelvis. Se considera que el ángulo de 90° es el más adecuado para las actividades cotidianas. La mejor forma de conseguir este ángulo es utilizando un cojín adaptado a la forma humana, más bajo por detrás para acomodar la forma de las nalgas.



Soporte para los pies

Las rodillas deberán permanecer en un ángulo de 90° para garantizar la comodidad de la persona que usa la silla por lo que, los reposapiés deberían tener el mismo ángulo.



Sin embargo en adultos, normalmente no se da, porque de esta forma las plataformas del reposapiés impiden el libre giro de las ruedas delanteras. En sillas deportivas con ruedas delanteras más pequeñas el ángulo puede ser de unos 85° . En sillas normales es algo inferior, pero siempre tendiendo aproximarse lo más posible a los 90° .

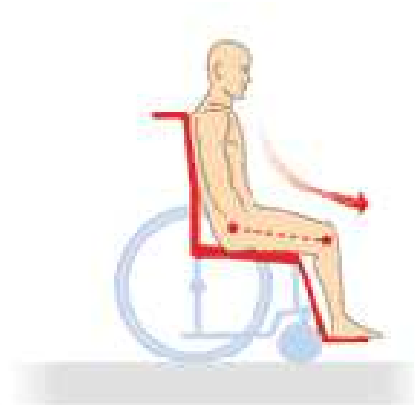
El ángulo del tubo delantero del chasis respecto del suelo (L en el esquema de las dimensiones de la silla) además influye además en la longitud total de la silla.

Fijaremos dicho ángulo en un valor de unos 85°. De esta forma:

- **Aseguramos el confort del usuario manteniendo sus rodillas flexionadas a unos 90°.**
- **Permitimos el giro a las ruedas delanteras.**
- **Obtendremos un chasis de dimensiones compactas, fácil de manipular por los espacios más estrechos.**

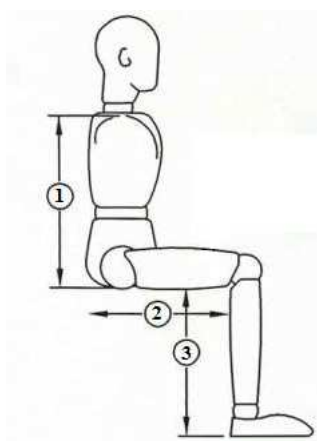
La altura a la que están colocadas las plataformas también es importante. Si están demasiado bajas o el asiento demasiado alto, las rodillas del usuario estarán más bajas que sus caderas.

De esta forma el usuario tenderá a deslizarse en el asiento, dificultando la propulsión y aumentando el rozamiento de las nalgas.



Si las plataformas están demasiado altas o el asiento bajo, las rodillas estarán más altas que las caderas y los muslos se levantarán del asiento, aumentando la presión sobre las nalgas.

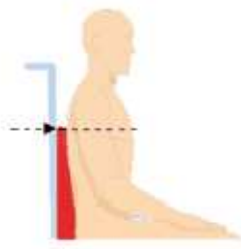
La altura a la que estará el reposapiés se podrá regular de modo que la longitud E mostrada en el esquema podrá ser más larga o más corta en función de la longitud de la pantorrilla del usuario y de la posición que le aporte mayor confort.



La longitud de la pantorrilla (3 en la figura) equivale a la distancia desde la flexura de la rodilla hasta la zona de apoyo del talón, con el tobillo en flexión.

Los valores entre los que se comprende la longitud de la pantorrilla pueden ir desde los 25 a los 47 cm aproximadamente así que ajustaremos las posiciones del reposapiés para que dichos valores sean la longitud mínima y máxima de E, respectivamente. La distancia entre el reposapiés y el suelo debe ser mayor a los 5 cm. Se recomienda que sea mayor a los 10 cm para evitar tropiezos.

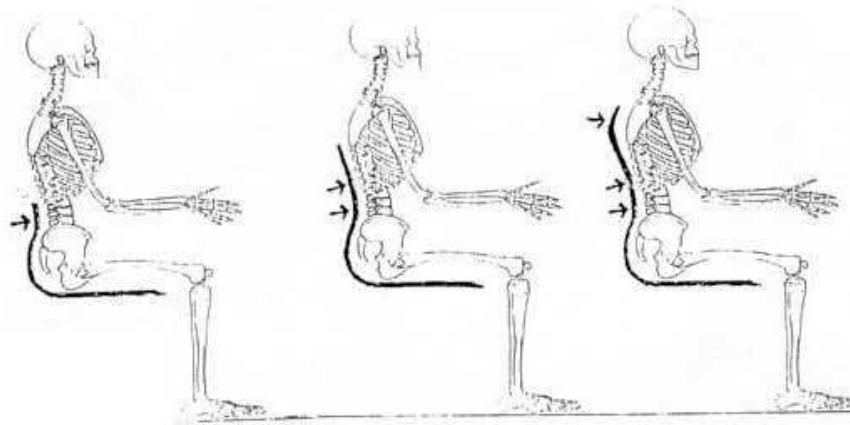
Altura del respaldo



El respaldo debe ser lo bastante alto como para estabilizar la región lumbar superior.

Por encima de este nivel la altura del respaldo depende de las necesidades, tipo de discapacidad y/o preferencias particulares del usuario. En lesionados medulares cuanto más alta es la lesión necesitarán un respaldo más alto para dar soporte al tronco. También se recomienda un respaldo más alto para dar seguridad al usuario que usa por primera vez una silla de ruedas. Una vez acostumbrado y si su lesión lo permite, tendrá a respaldos más

bajos que ofrecen mayor libertad de movimientos del tronco.



Lumbar

Lumbar-Dorsal

Lumbar-Dorsal Cervical

Descarga de la espalda según el tipo de respaldo

Nuestro objetivo es diseñar una silla para gente activa y experimentada en el uso de sillas, por lo que no sería necesario que el respaldo fuese muy largo. La silla debe permitir el apoyo de la zona lumbar-dorsal. Las ventajas que esta opción nos muestra para el tipo de diseño que tenemos pensado son:

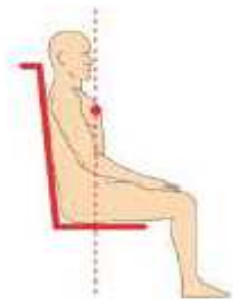
- Cubre una zona amplia de la espalda, por lo que no sólo aseguramos el bienestar de la zona lumbar- dorsal, sino que se mejora distribución del peso, lo que disminuye la presión a la que se somete la espalda.
- Una menor altura no cumple el objetivo anterior y una mayor altura aumenta el material necesario, por lo que el peso y, por tanto, el coste y la dificultad para manejar la silla incrementan.
- Una mayor altura compromete a la estabilidad, siendo más elevado el riesgo a vuelco.
- Otorga una considerable libertad de movimientos. La finalidad es la de poder cambiar de posición tirándose hacia atrás para descansar.

Una vez concretada la opción de cubrir la zona lumbar-dorsal de la espalda, nos centramos en concretar las medidas de esta zona. Para evitar que el respaldo interfiera en los movimientos del brazo para operar, su altura máxima ha de estar 2.5 cm por debajo de la escápula. En caso de que el usuario tenga problemas de estabilidad nunca se recomienda una altura de respaldo más baja de 30-35cm.

Dicho esto, el valor de F (esquema de dimensiones de una silla de ruedas), estará entre los 35 y los 40 cm.

Forma del respaldo y ángulo

La mayoría de usuarios se sentirán cómodos con un respaldo que dé adecuado soporte a la región lumbar. La forma, junto con un ángulo de inclinación adecuado, proporciona apoyo y equilibrio a la parte superior del cuerpo. El respaldo debe estar ligeramente reclinado para que la fuerza de gravedad recaiga sobre el pecho del usuario ayudándole a mantenerse estable en la silla.



Un respaldo completamente recto hace que la fuerza de gravedad recaiga en los hombros del usuario por lo que éste tenderá a inclinarse hacia adelante para compensarla.

Un respaldo demasiado reclinado resulta incómodo porque el usuario ve reducido su campo visual. Además, el centro de gravedad se desplaza, habiendo más posibilidades de caerse hacia atrás.



El ángulo entre asiento y respaldo ha de ser igual o ligeramente mayor a los 90° para conseguir que el usuario se posicione correcta y cómodamente, garantizando el apoyo de la espalda pero que a la vez no exista el riesgo de deslizarse hacia adelante en el asiento.

Soporte para los brazos

Los reposabrazos procuran descanso a los brazos y músculos del cuello. Cuando se ajustan de manera adecuada, los antebrazos del usuario apoyados deben quedar a 90° del codo.



Si los apoyabrazos son demasiado altos, los hombros quedarán forzados hacia arriba, dando lugar a dolores musculares en la zona cervical. Si los apoyabrazos están demasiado bajos, el usuario tenderá a dejarse caer hacia un lado cuando los utilice. La altura del reposabrazos más adecuada es la que está a 2 cm por encima del codo con el brazo extendido.

7.1.4. Restricciones técnicas

Anteriormente, se han establecido unas dimensiones aproximadas de la silla en función de las normas, antropometría y ergonomía. Dichas dimensiones aún no son definitivas pues nos quedan por estudiar otros factores. Atender al bienestar del usuario es lo primordial, razón por la que tendremos muy en cuenta la información aportada en los apartados anteriores.

Ahora, estudiaremos los factores que afectan al uso de la silla para hacernos una idea de las dimensiones que han de tener los elementos de ésta con el fin de hacer que cumpla sus objetivos de manera idónea.

Para ello, dividiremos los factores en dos categorías: la **movilidad** y la **propulsión**. Para una mejor **movilidad** de la silla, el rozamiento ha de ser mínimo puesto que contra mayor sea éste, mayor será la resistencia a rodar y el usuario empleará más cantidad de energía para su propulsión. La capacidad de **propulsión** es distinta, muchas veces limitada, debido a las circunstancias de cada usuario en lo referente a su salud. Por ello, el montaje de la silla debe procurar una propulsión eficaz con un gasto mínimo de energía.

Factores que afectan a la movilidad

a) Distribución del peso entre las ruedas delanteras y traseras. Mayor peso sobre las ruedas delanteras provocan mayor rozamiento, pero al mismo tiempo mayor estabilidad. Una silla de ruedas estándar tiene una distribución del peso de 50/50% mientras que una silla ligera ajustable tiene una distribución del peso de 80% en la rueda trasera y 20% en la rueda delantera, es decir, rueda mejor que una estándar pero es menos estable.

b) Centro de gravedad de la silla. Si desplazamos hacia atrás el centro de gravedad de la silla hacia atrás y hacia arriba se aumenta el peso sobre las ruedas traseras y hace que la silla sea más fácil de manejar pero más inestable. Si se desplaza el centro de gravedad hacia abajo y hacia delante, la silla gana estabilidad pero es más difícil de manejar. Se puede recurrir a la introducción de dispositivos de seguridad como **ruedas anti-vuelco**, en caso de poner en peligro la estabilidad.

c) Distancia entre los ejes de las ruedas delanteras y traseras. Una distancia larga entre ejes mantiene mejor el rumbo. Una distancia corta resulta más suave y fácil de manejar.



d) Tamaño y composición de las ruedas. Las ruedas neumáticas resultan más cómodas al amortiguar mejor, sin embargo, oponen mayor resistencia a la rodadura por ser más blandas. La resistencia disminuye en ruedas más macizas. Mayor tamaño en las ruedas significa mayor agarre pero mayor rozamiento.

e) Tamaño de las ruedas delanteras. Las ruedas grandes son más recomendables para exteriores, y suelos accidentados. Las pequeñas son más adecuadas para su uso en interiores y para la práctica de deportes por su mayor rapidez de giro en superficies lisas y duras. Sin embargo, el tamaño adecuado está determinado por la combinación entre la superficie sobre la cual será utilizada y la distribución del peso de la silla. Por eso, una rueda pequeña en una silla con una distribución del peso 50/50% daría un rozamiento elevado.

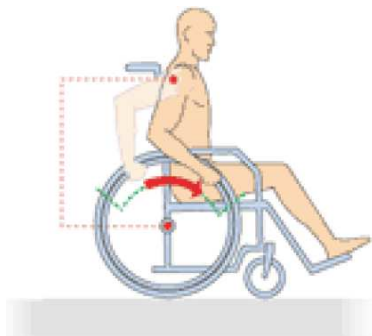
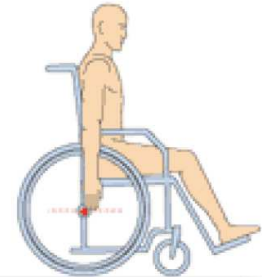
f) El terreno de uso. El terreno blando produce un mayor rozamiento y por lo tanto exige mayor esfuerzo para propulsar la silla. El rozamiento es menor en superficies lisas y duras.

g) Ángulo de las ruedas traseras. Si las ruedas tienen un ángulo positivo (mayor anchura en la base) la silla mantendrá mejor el rumbo, será más estable y la postura de los hombros será mejor (brazos más pegados al cuerpo para propulsar). El inconveniente es que aumenta el ancho total de la silla, cosa que dificultaría el acceso por los tramos estrechos. Un ángulo neutro es menos eficaz para rodar. Un ángulo negativo (menor anchura en la base) hace que la postura de los hombros sea peor y la silla será más inestable.

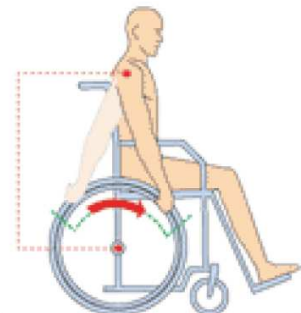
h) Ángulo de las ruedas delanteras. Después de cualquier cambio en las ruedas traseras o en la altura del armazón, hay que comprobar siempre que las delanteras están a 90° . Si el ángulo es más abierto (superior a 90°) la silla girará más rápido pero al detenerse tenderá a irse hacia atrás y la parte delantera del armazón quedará más elevada. Si el ángulo es inferior a 90° se dificulta el giro. Cuando se quiere detener la silla, esta tiende a seguir rodando, y la parte delantera de la silla queda más baja que la trasera.

Factores que afectan a la propulsión

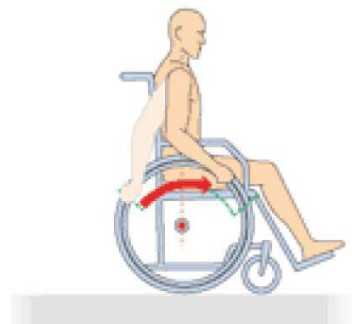
a) Altura y posición de las ruedas. Para lograr una propulsión más eficaz, las ruedas traseras deben estar situadas de forma que el usuario con el hombro relajado y dejando caer el brazo estirado, pueda tocar con la punta de los dedos el eje de la rueda trasera.



Si el eje de la rueda queda más alto de lo indicado, el aro de empuje le quedará también alto, y el usuario deberá flexionar demasiado los brazos para propulsarse. La propulsión será más incómoda e ineficiente.



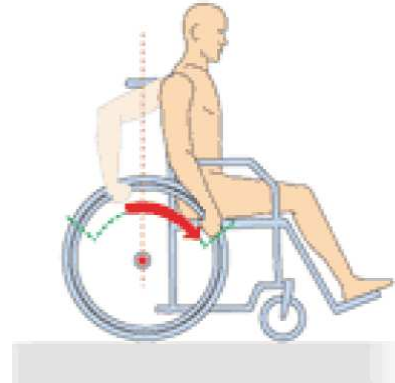
Lo mismo ocurre si el eje de la rueda está más bajo que la punta de los dedos. El usuario deberá realizar la propulsión con los brazos demasiado estirados, y no podrá realizar la fuerza necesaria para la propulsión correcta.



Esta misma regla marca también la posición óptima de la rueda. Si la rueda está adelantada y el eje queda por delante de los dedos, el usuario iniciará la propulsión demasiado atrás y no podrá completar todo el recorrido.

Si el eje queda por detrás de los dedos, el usuario empezará la propulsión adelantado y por lo tanto tendrá un recorrido más corto.

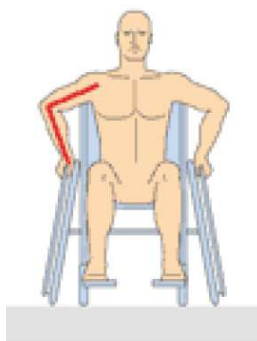
La posición de la rueda trasera afecta también a la estabilidad de la silla. Si la rueda está más retrasada la silla será más estable (caso de sillas estándar) pero también requiere mayor energía para la propulsión. Las sillas ligeras tienden a tener las ruedas traseras más adelantadas que la silla estándar. De esta forma necesita menor fuerza de palanca y menor energía para su propulsión.



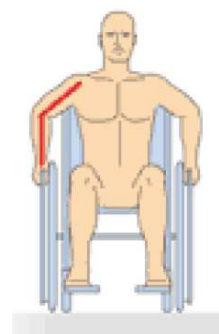
b) Tamaño de las ruedas. La rueda trasera más pequeña permite aplicar menor esfuerzo para propulsarla, pero también realiza un recorrido más corto. La medida estándar son de 24" y suele funcionar bien en todos los casos. El tamaño de las ruedas delanteras influye en la maniobrabilidad de la silla (cuanto más pequeñas más maniobrable) y en la facilidad para pasar obstáculos (cuanto más grandes mejor). Para sillas de uso diario, la opción más equilibrada son ruedas de 4" o de 5".

c) Distancia entre ejes. Una distancia larga entre ejes trasero y delantero permite mantener un rumbo más recto, pero también las ruedas recorren mayor distancia por lo que es necesaria más energía para su propulsión. Una distancia de ejes corta gira con mayor facilidad y se maneja más fácil al requerir menor gasto de energía para su propulsión.

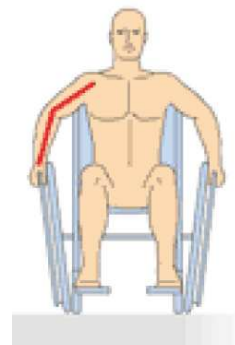
d) Ángulo de las ruedas. La propulsión óptima se realiza con las ruedas traseras paralelas al asiento. De esta forma la distancia de los brazos al cuerpo es la adecuada para aplicar la energía necesaria para la propulsión correcta.



Si las ruedas están más anchas en la base, la silla es más estable, pero los brazos quedan más cerca del cuerpo. Así se produce una mayor abducción de los hombros por lo que la propulsión es más difícil y menos eficaz.



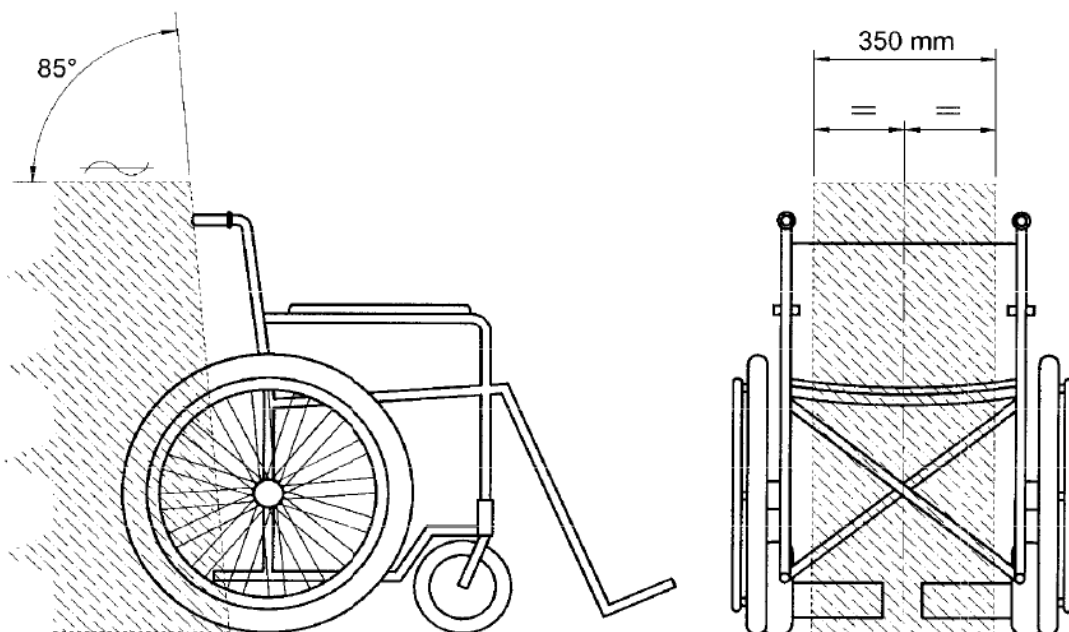
Si las ruedas están más juntas en la base, los brazos quedarán muy lejos del cuerpo siendo difícil aplicar la fuerza necesaria para la propulsión. Además la silla es más inestable.



7.1.5. Restricciones impuestas por la normativa

Según la norma **UNE-EN 12183:2010**:

- “Se debe prevenir el atrapamiento de partes del cuerpo”
- “La fuerza de empuje requerida para arrancar y mantener el movimiento de la silla de ruedas cargada, a velocidad constante sobre una superficie horizontal, **no debe exceder de 40 N.**”
- “Debe estar equipada con reposapiés que dispongan de un medio para **posicionar los pies del ocupante a la altura requerida** (con intervalos que no excedan los 25mm), que impida que los pies se deslicen hacia atrás y que se fije de forma segura. La separación entre ellos no debe exceder de 35 mm (para un adulto) o 25 mm (para un niño).”
- “El reposapiés ha de ser operable sin el empleo de herramientas, estar accesible y ser accionable por el ocupante o el acompañante.”
- “Si la silla dispone de ruedas neumáticas, éstas deben tener el mismo tipo de válvula de llenado. Las ruedas deben llevar marcada la presión máxima de inflado expresada en kPa o en bar.”
- “Las empuñaduras de maniobra deben estar separadas por una distancia mayor a los 350mm, tener una longitud mayor a las 75mm y un diámetro entre los 20 y 50mm.”
- “Ninguna parte de la silla ha de quedar dentro de un espacio posterior de la misma, acotado por un plano que forme 85° con la horizontalque toque los puntos más posteriores



de las empuñaduras de empuje.”

- “La silla ha de estar provista de dispositivos antivuelvo si su estabilidad estática es menor a los 10°.
- “El diámetro de giro tiene como valor máximo los 1000mm.”

A continuación, añadiremos algunas recomendaciones de diseño plasmadas en la norma UNE-EN 12183:2010:

- “Todos los tornillos, fiadores, y accesorios similares deberían ser de medidas métricas, como se especifica en la Norma ISO 68-1:1998. Para el funcionamiento y mantenimiento de la silla de ruedas se debería requerir un mínimo de herramientas.”
- “Las sillas de ruedas deberían estar equipadas con neumáticos que no dejen marcas en los suelos interiores.”
- “Cuando la silla de ruedas esté equipada con ruedas neumáticas, con ella se debería suministrar un dispositivo adecuado para inflar los neumáticos.”
- “Cuando se seleccionen los materiales que entran en contacto directo con el ocupante, por ejemplo, los aros de impulsión o las partes tapizadas, se deberían tener en cuenta las propiedades térmicas de los mismos a fin de evitar temperaturas superficiales excesivas cuando se expongan a fuentes exteriores de calor.”
- “Cuando se seleccionen materiales que puedan entrar en contacto con la orina (por ejemplo, partes tapizadas), se debería tener en cuenta la resistencia a la contaminación y los métodos de limpieza y de descontaminación de los mismos, a fin de evitar que se produzcan condiciones no higiénicas, olores y la degradación de los materiales.”
- “Si la silla de ruedas dispone de empuñaduras de empuje, la altura de éstas debería estar comprendida entre 900 mm y 1.200 mm.”
- “La holgura sobre el suelo, medida según el método especificado en la Norma ISO 7176-5:2008, no debería ser inferior al valor especificado de 30mm. Esta recomendación no es aplicable a las sillas de ruedas diseñadas para fines especiales que sean incompatibles con esta recomendación, por ejemplo, sillas de ruedas para ponerse en pie y sillas de ruedas cuyo asiento baje hasta el nivel del suelo.”
- “El ángulo del asiento, medido según se especifica en la Norma ISO 7176-7:1998, debería estar comprendido entre + 4° y + 14°.”
- “El ángulo entre el plano del respaldo y el plano del asiento debería estar comprendido entre 90° y 100° cuando no sea regulable. Si el ángulo es regulable, la gama de regulación debería ser de 15° como mínimo.”
- “En las sillas previstas para adultos, la profundidad del asiento debería estar comprendida entre 305 mm y 565 mm, cuando se mida como se especifica en la Norma ISO 7176-7:1998.”
- “En las sillas previstas para adultos, la anchura efectiva del asiento debería estar comprendida entre 320 mm y 610 mm, cuando se mida como se especifica en la Norma ISO 7176-7:1998.”

-“En las sillas de ruedas previstas para adultos, la altura del reposabrazos debería estar comprendida entre 155 mm y 325 mm, cuando se mida como se especifica en la Norma ISO 7176-7:1998.”

7.1.6. Resultado dimensional

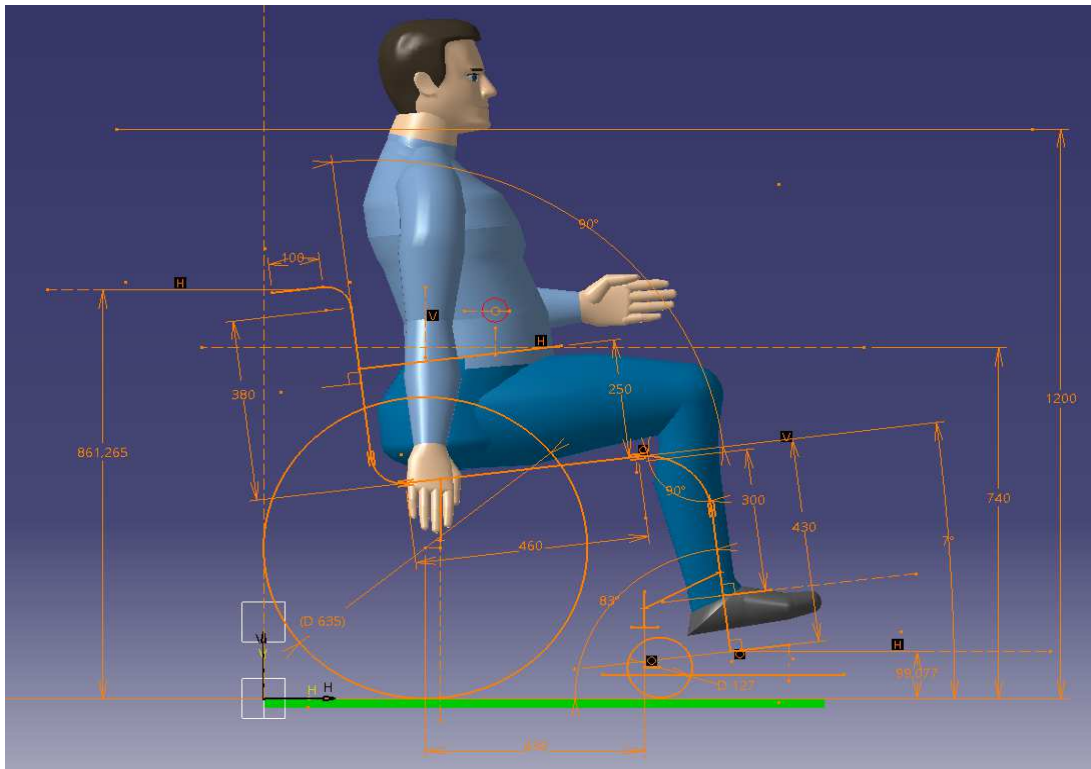
En la siguiente tabla queda reflejada la mayoría de dimensiones que se tratarán de plasmar en el diseño.

TABLA DE DIMENSIONES	
Altura de la silla	<1200mm
Longitud de la silla	<1090mm
Anchura de la silla	<700mm
Anchura del asiento	400-500 mm
Longitud del asiento	380-480 mm
Altura del respaldo	350-400 mm
Ángulo respaldo-asiento	90° - 100°
Ángulo del asiento	4° - 14°
Diámetro máximo de giro	<1000mm
Distancia entre ejes	<500mm
Diámetro rueda trasera	24-25"
Diámetro rueda delantera	4-5"
Distribución de peso	50-50% - 80-20%
Distancia asiento-reposapiés	250-470mm
Intervalos de ajuste del reposapiés	<25mm
Distancia suelo-reposapiés	>50mm
Ángulo suelo-piernas	aprox. 85°
Distancia suelo-reposabrazos	aprox. 720mm
Distancia asiento-reposabrazos	155-325mm
Altura empuñaduras de empuje	aprox. 900-1200mm
Distancia entre empuñaduras	<350mm
Longitud empuñaduras	<75mm

Con estos datos, hacemos uso del programa de diseño en 3D CATIA V5 R18 para hacer un esqueleto que refleje las primeras medidas que tomaremos para el chasis y para las ruedas de la silla.

Para ello, hemos recurrido a un maniquí integrado en el programa para que nos dé una serie de pistas de cómo encajaría nuestro diseño en el usuario. El modelo escogido es de un varón de aproximadamente 1,75 metros de altura y de unos 90 kg de peso. Hemos elegido que sea esbelto para comprobar si la silla se adapta a las medidas corporales mientras, a su vez, respeta los límites corporales.

A continuación mostraremos el perfil inicial de la silla.



Éstas son las medidas del chasis de las que hemos partido para la construcción de la silla.

Para obtener una altura adecuada, hemos puesto ruedas traseras de 25'' y delanteras de 5'', un ángulo de asiento de 7° y una longitud de asiento de unos 460mm.

Vemos que la altura del reposapiés con respecto del suelo ronda así los 10 cm, permitiéndonos una distancia asiento-reposapiés máxima de 430mm.

La longitud de la pantorrilla puede llegar a tener mayor longitud debido a que es difícil prever el comportamiento de la tela y el acolchado del asiento, por lo que el individuo puede estar situado más arriba o más debajo de lo que está en la figura.

La altura del reposabrazos se aproxima a los 720mm, tal como lo habíamos planteado. Posteriormente, incrementará ligeramente su valor al añadir el acolchado.

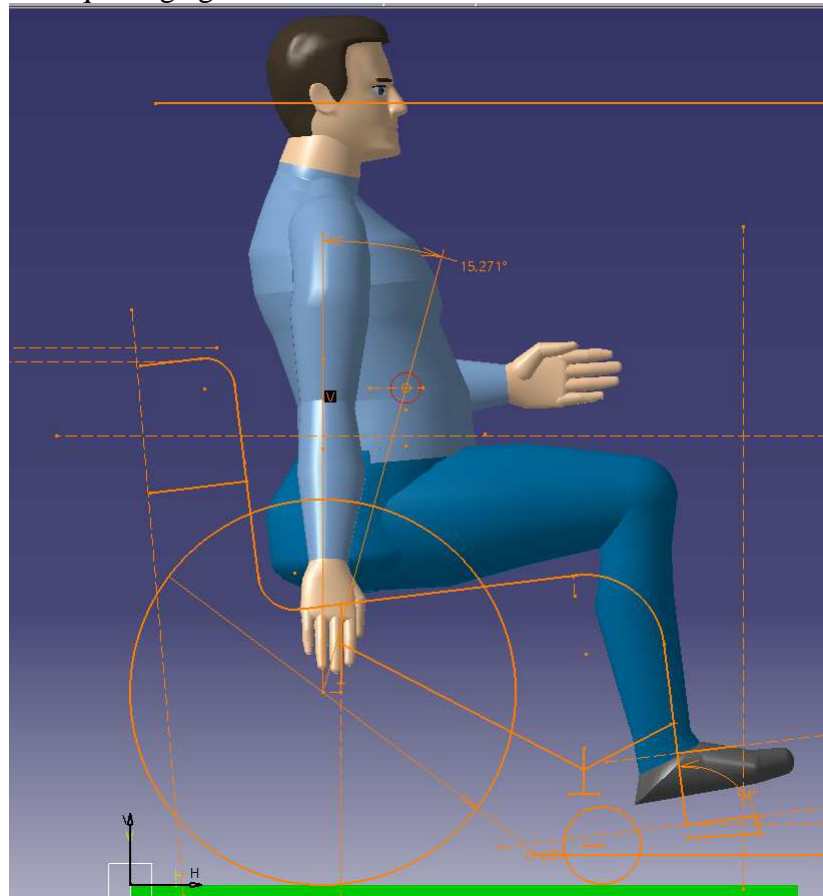
La altura de las empuñaduras, que ligeramente están por debajo de los 900mm, aún no es la definitiva puesto que subirá un par de centímetros hacia arriba. Hay que tener en cuenta que hemos dibujado el eje del perfil tubular. De todas formas, esa dimensión no la obliga la norma, simplemente la recomienda, por lo cual si se aproxima es suficiente.

Vemos que la silla no rebasa las restricciones dimensionales dictadas por la norma, a excepción de la anchura que aún queda por definir.

Una de las condiciones que debe cumplir la silla es que sea estable. Para conocer su nivel de estabilidad, debemos conocer la pendiente máxima que admite sin riesgo de vuelco.

Conociendo el centro de gravedad del usuario sentado podemos hacer una estimación de la pendiente máxima.

Sabemos que la silla volcará en cuanto la fuerza que ejerce el usuario sobre la silla genere un momento que haga girar la silla hacia atrás.



El peso del sujeto ejercerá una fuerza vertical aplicada en el centro de gravedad. En el dibujo vemos que sobre llano genera un momento horario cuyo eje de giro es el eje de la rueda. A partir de los **15,271°**, esta fuerza generará un momento anti-horario que provocará el vuelco.

Según la norma **UNE-EN 12183:2010**:

“La silla ha de estar provista de dispositivos anti-vuelco si su estabilidad estática es menor a los 10°.”

Además según la **Ley 8/97 y D.35/00** que se refiere al código de accesibilidad, nos aparece que en el itinerario practicable las pendientes máximas para acceder a los sitios públicos son del 14% (aprox.8°) para tramos menores de 3 metros.

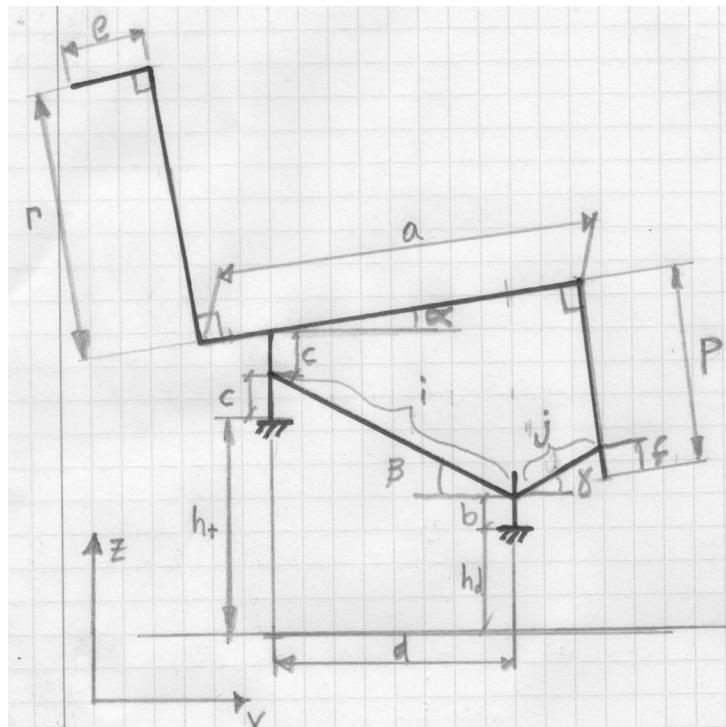
De esta forma, podemos afirmar que estas dimensiones son muy adecuadas puesto que nos ahorramos el mecanismo anti-vuelco de la silla puesto que no es necesario y sabemos de sobra que nuestra silla puede superar sin dificultad los obstáculos urbanos en cuanto a estabilidad se refiere.

7.2. Chasis

El chasis es el esqueleto de la silla, razón por la cual empezaremos por él. En el apartado anterior hemos definido la mayoría de las dimensiones de la silla, gran parte correspondientes al chasis, así que podemos pasar a su análisis.

Vamos a calcular los esfuerzos del chasis para así hallar los máximos. Una vez obtenidos, elegiremos el material y dimensionaremos el perfil de las barras de forma que soporten con creces el esfuerzo necesario.

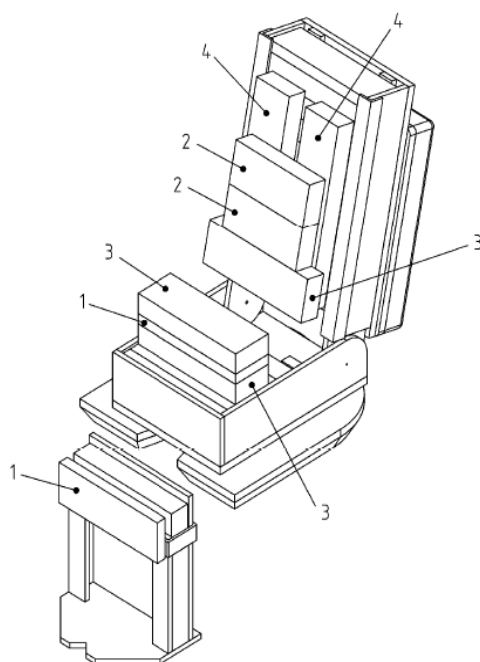
Comenzaremos con definir las dimensiones de la estructura.



Parámetro	Longitud (mm)	Parámetro	Ángulo (°)
a	650	α	7
b	40	β	27,4
c	65	γ	27,8
d	400		
e	150		
f	50		
ht	332,5		
hd	150		
i	450,5		
j	167		
p	310		
r	430		

Sabemos las dimensiones de la estructura, ahora debemos conocer la distribución de las fuerzas.

Según la UNE-EN 12183, se deben realizar ensayos con un maniquí de 100 kg y unas masas adicionales de forma que el peso total a soportar sea 150 kg. El peso del tronco, piernas superiores e inferiores aparecen en la figura y en la tabla.



Leyenda

- 1 Bloque de acero de 3,0 kg
- 2 Bloque de acero de 4,5 kg
- 3 Bloque de acero de 6,0 kg
- 4 Bloque de acero de 8,5 kg

Componente	Masa kg	
	Maniquí de 150 kg	
Tronco		
Tronco de maniquí de 100 kg		61
Masas adicionales	2 x 8,5 =	17
	1 x 6 =	6
	2 x 4,5 =	9
Construcción adicional		<0,5
Subtotal		93
Piernas superiores		
Piernas superiores de maniquí de 100 kg		31
Masas adicionales	2 x 6 =	12
	1 x 3 =	3
Construcción adicional		<0,5
Subtotal		47
Piernas inferiores		
Piernas inferiores de maniquí de 100 kg		7
Masas adicionales	1 x 3 =	3
Construcción adicional		<0,5
Subtotal		10
Total		150

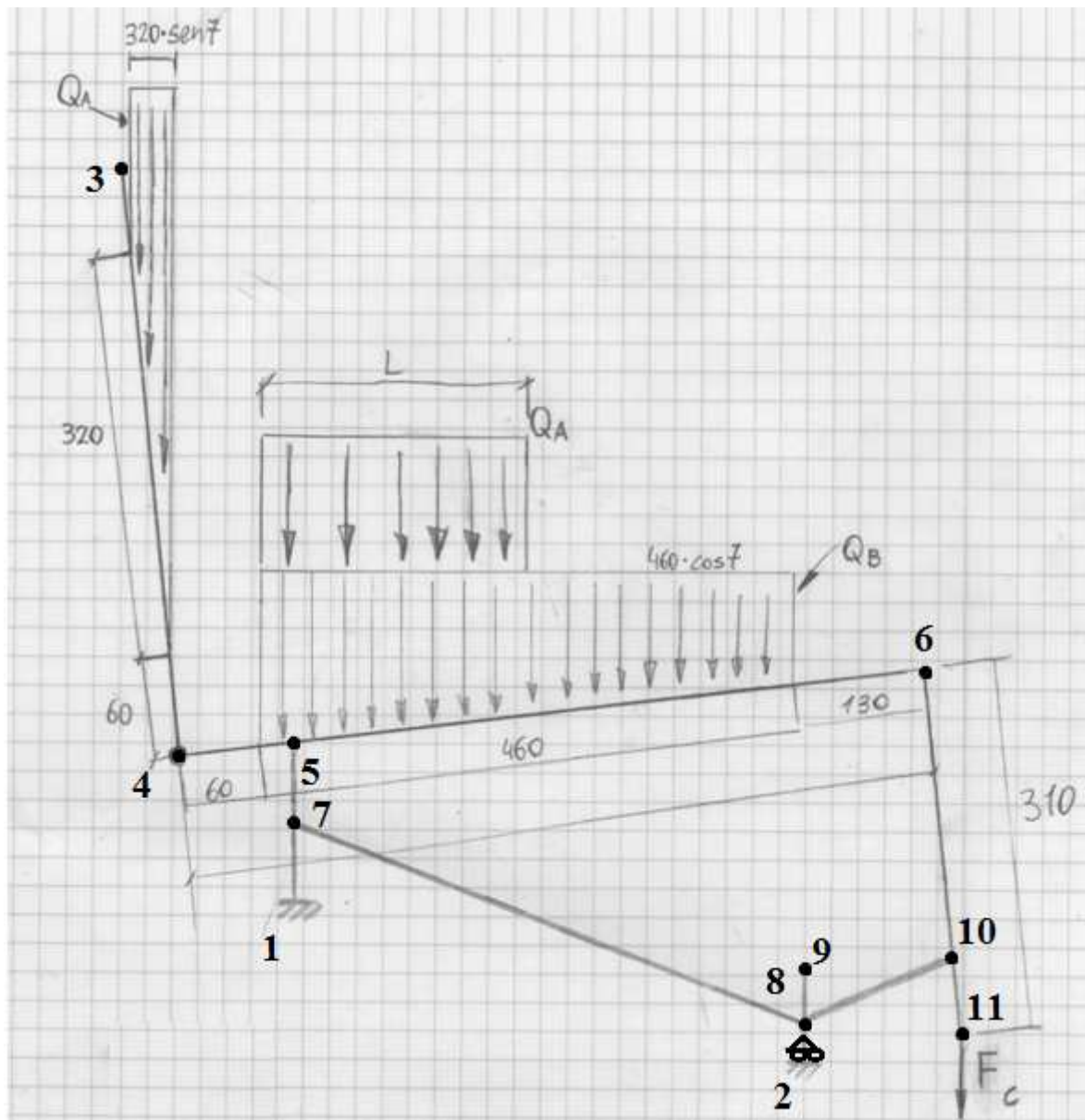
Analizaremos los esfuerzos de la silla cuando el usuario posa su espalda en el respaldo. Primero interpretaremos el peso del cuerpo como una sobrecarga establecida sobre la proyección horizontal.

El peso del tronco es soportado por el respaldo y parte del asiento. Hay una zona del respaldo de 320 mm de longitud a 60 mm del asiento donde se apoya la espalda y otra zona del asiento de longitud desconocida L a 60 mm del respaldo donde se distribuye la carga del tronco. Por eso, representaremos el peso del tronco como una carga distribuida uniformemente por estas dos zonas, en su proyección horizontal.

El peso de las piernas superiores se puede interpretar como una carga distribuida uniformemente a lo largo de la proyección horizontal de los 460 mm del asiento, a una distancia de 60 mm del respaldo donde el cuerpo supuestamente no toca la estructura.

Del peso de las piernas inferiores se encarga el reposapiés, que va unido al chasis por dos puntos. El esfuerzo al que se somete el chasis debido a las piernas inferiores se representará como una carga puntual en esas uniones para facilitar los cálculos.

A continuación, mostramos la representación gráfica:



Donde:

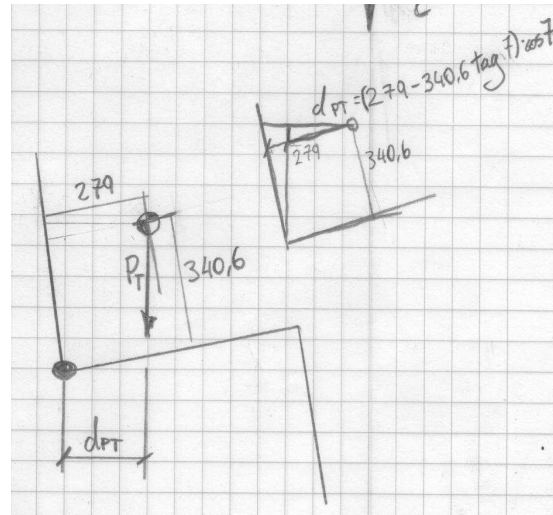
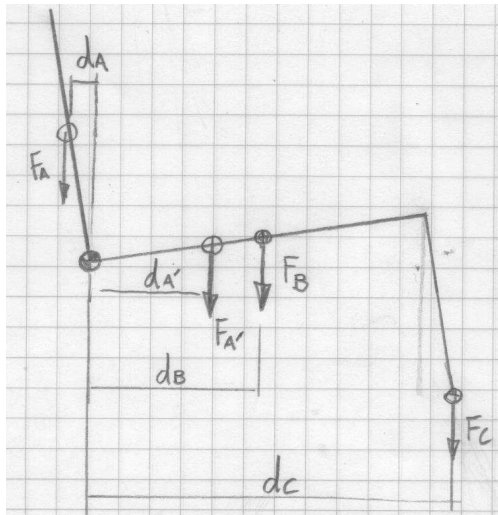
Q_A = Carga distribuida correspondiente al tronco

Q_B = Carga distribuida correspondiente a las piernas superiores

F_C = Carga correspondiente a las piernas inferiores

L = Longitud del asiento afectada por Q_A

Es el mismo efecto el que produce la suma de las cargas de cada parte del cuerpo que el peso del cuerpo en su totalidad. Conocemos, a través de CATIA, las coordenadas del centro de gravedad del cuerpo. Éste se encuentra a 279 mm del respaldo y a 340,6 mm por encima del asiento, aproximadamente.



Donde:

F_A = Carga sobre el respaldo correspondiente al tronco

d_A = Distancia de F_A respecto al centro de giro

$F_{A'}$ = Carga sobre el asiento correspondiente al tronco

$d_{A'}$ = Distancia de $F_{A'}$ respecto al centro de giro

F_B = Carga sobre el asiento correspondiente a las piernas superiores

d_B = Distancia de F_B respecto al centro de giro

F_C = Carga correspondiente a las piernas inferiores

d_C = Distancia de F_C respecto al centro de giro

P_T = Peso total del cuerpo

d_{PT} = Distancia de P_T respecto al centro de giro

Estableciendo la equivalencia de un sistema con el otro, hallaremos el valor de L a través de los momentos de las fuerzas con respecto al punto donde se une el asiento con el respaldo.

$$M_{PT} = M_{A'} - M_A + M_B + M_C$$

Nombre	Explicación	Cálculo	Valor	Resultado
Q _A	Carga distribuida correspondiente al tronco	93 x 9,8 / (0,32 sen 7 + L)	¿?	3058 N/m
Q _B	Carga distribuida correspondiente a las piernas superiores	FB/(0,46 cos 7)	1008,8 N/m	
L	Longitud del asiento afectada por Q _A		¿?	0,259 m
F _A	Carga sobre el respaldo correspondiente al tronco	Q _A x 0,32 sen 7	¿?	119,3 N
d _A	Distancia de F _A respecto al centro de giro	(0,32/2+0,06) sen 7	0,02681 m	
F _{A'}	Carga sobre el asiento correspondiente al tronco	Q _A x L	¿?	792,1 N
d _{A'}	Distancia de F _{A'} respecto al centro de giro	L/2 + 0,06 cos 7	¿?	0,189 m
F _B	Carga sobre el asiento correspondiente a las piernas superiores	47 kg x 9,8 m/s ²	460,6 N	
d _B	Distancia de F _B respecto al centro de giro	(0,46/2 + 0,06) cos 7	0,2878 m	
F _C	Carga correspondiente a las piernas inferiores	10 kg * 9,8	98 N	
d _C	Distancia de F _C respecto al centro de giro	0,65 cos 7 + 0,31 sen 7	0,6829 m	
P _T	Peso total del cuerpo	150 kg x 9,8 m/s ²	1470 N	
d _{PT}	Distancia de P _T respecto al centro de giro	(0,279 - 0,3406 tg 7) cos 7	0,2354 m	
M _A	Momento de F _A	F _A x d _A	¿?	3,2 N m
M _{A'}	Momento de F _{A'}	F _{A'} x d _{A'}	¿?	149,7 N m
M _B	Momento de F _B	F _B x d _B	132,56 N m	
M _C	Momento de F _C	F _C x d _C	66,9 N m	
M _{PT}	Momento de P _T	F _{PT} x d _{PT}	346 N m	

Entonces:

$$M_{A'} - M_A = 146,54 \text{ N m}$$

$$F_{A'} \times d_{A'} - F_A \times d_A = 146,54 \text{ N m}$$

$$146,54 = Q_A \left(\left(L \left(\frac{L}{2} + 0,5955 \right) \right) - (0,32 \times \sin(7) \times 0,02681) \right)$$

$$146,54 = \frac{93 \times 9,8}{320 \sin(7) + L} \left(\left(L \left(\frac{L}{2} + 0,5955 \right) \right) - (0,32 \times \sin(7) \times 0,02681) \right)$$

Despejando

$$68,3 L^2 - 13,83 L - 1 = 0$$

Escogemos la solución positiva

$$L = 0,259 \text{ m}$$

Por tanto

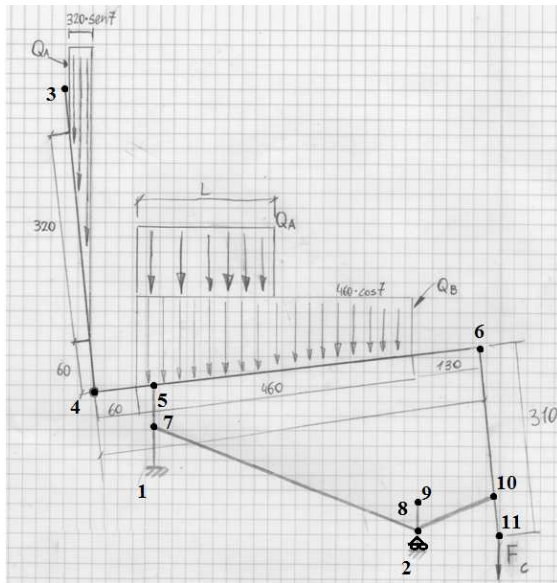
$$Q_A = 3058 \text{ N/m}$$

$$F_A = 119,3 \text{ N}$$

$$F_{A'} = 792,1 \text{ N}$$

Comprobamos que $F_A + F_{A'} = 9,8 \times 93$ -----Coincide

Analizaremos sólo un lado del chasis para hacerlo más fácil. Dado que éste es simétrico, dividiremos por la mitad los esfuerzos anteriormente obtenidos. Así:



$$Q_A = 1529 \text{ N/m}$$

$$Q_B = 504,4 \text{ N/m}$$

$$F_c = 49 \text{ N}$$

$$L = 0,259 \text{ m}$$

Podemos calcular las reacciones en los puntos 1 y 2 (rueda trasera y delantera, respectivamente) de la siguiente forma:

$$\Sigma F = 0 \rightarrow x; R_{1x} = R_{2x} = 0$$

$$y: R_{1y} + R_{2y} - 1529 (0,32 \text{ sen } 7 + L) - 504,4 (0,46 \cos 7) - 49 = 0$$

$$\Sigma M = 0 \rightarrow \Sigma M_2 = R_{1y}(0,4) - Q_A (0,32 \text{ sen } 7) d_{A2} - Q_A (L) d_{A'2} - Q_B (0,46) d_{B2} + F_c d_{C2}$$

Con todos los datos que hemos obtenido hasta ahora, con simples cálculos de trigonometría y sabiendo que la distancia de 4 a 5 es de 130mm, calculamos las distancias de cada fuerza con respecto al punto 2.

$$d_{A2} = d + d_{45} \cos \alpha + d_A = 0,4 + 0,13 \cos 7 + 0,02681 = 0,556 \text{ m}$$

$$d_{A'2} = d_{42} - d_{A'} = 0,4 + 0,13 \cos 7 - 0,189 = 0,34 \text{ m}$$

$$d_{B2} = d_{42} - d_B = 0,4 + 0,13 \cos 7 - (0,46/2 + 0,06) \cos 7 = 0,529 - 0,2878 = 0,241 \text{ m}$$

$$d_{C2} = j \cos \gamma + f \text{ sen } \alpha = 0,167 \cos 27,8 + 0,05 \text{ sen } 7 = 0,154 \text{ m}$$

Una vez resuelto, nos sale que:

$$R_1 = 540,3 \text{ N (73,5\% del peso)}$$

$$R_2 = 194,7 \text{ N (26,5\% del peso)}$$

O lo que es lo mismo:

$$(P_T / 2) * (0,4 - d_{1P}) - R_{1y} * 0,4 = 150 * 9,8 * 0,5 * (0,4 - 0,1064) - R_{1y} * 0,4 = 0$$

$$R_1 = 539,5 \text{ N (73,4\%)}$$

$$R_2 = 195,5 \text{ N (26,6\%)}$$

El resultado varía por la toma de decimales. Cogemos el resultado que más esfuerzo genere en las ruedas traseras, es decir, el primero.

$$R_1 = 540,3 \text{ N (73,5\% del peso)}$$

$$R_2 = 194,7 \text{ N (26,5\% del peso)}$$

Una vez conocidos las cargas y las reacciones, hallamos los esfuerzos máximos.

Debido a que la estructura planteada es hiperestática, debemos usar Catia para que, a través de elementos finitos, nos indique la tensión máxima que se produce en el chasis. Para poder hacerlo, previamente tenemos que asignar las dimensiones del perfil del chasis y el material a utilizar. Una vez hecho, Catia calculará los esfuerzos y veremos si el chasis resiste.

Con el fin de que la silla posea resistencia y ligereza, queremos fabricar un chasis de aluminio. He aquí sus características principales:

Color	Blanco
Densidad	2710kg/m3
Módulo de Young	$7 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$
Poisson	0,346
Expansión térmica	$2,36 \cdot 10^{-5} \text{ Kdeg}$
Temperatura de fusión	660,2 °C
Reflectividad	Alta
Conductividad eléctrica	Entre 35 y 38 m/($\Omega \text{ mm}^2$)
Conductividad térmica	De 80 a 230 W/(m.K)
Dureza	2-4 (Escala de Mohs)
Resistencia a tracción	160-200MPa
Resistencia a la corrosión	Media-Alta
Tóxico	No
Apariencia	Brillante y atractiva
Procesamiento	Fácil, poco costoso y con gran variedad de técnicas
Reciclaje	Sencillo y poco costoso

Para ser más concretos, emplearemos una aleación EN W 6063 T-5 (equivalencia española U.N.E. L-3441 38.337). Presenta excelente extrudabilidad, mediana resistencia mecánica, alta resistencia a la corrosión, buen acabado superficial, especial para anodizar. Las características técnicas se muestran a continuación:

Propiedades mecánicas típicas (a temperatura ambiente de 20°C)

Estado	Características a la tracción			Límite a la fatiga N/mm²	Resistencia a la cizalladura N/mm²	Dureza Brinell (HB)
	Carga de rotura Rm N/mm²	Límite elástico Rp 0,2 N/mm²	Alargamiento A 5,65 %			
O	100	50	27	110	70	25
T1	150	90	26	150	95	45
T4	160	90	21	150	110	50
T5	215	175	14	150	135	80
T6	245	210	14	150	150	75
T8	260	240	-	-	155	80

Características mecánicas de la aleación a diferentes temperaturas

Estado	-195°C			-80°C			-30°C			+25°C			+100°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
T1	205	110	44	190	105	38	185	95	34	150	90	30	150	95	30
T5	255	165	28	250	150	24	195	150	23	165	145	22	165	140	18
T6	325	250	24	260	230	20	250	220	19	240	215	16	215	195	15

Estado	+150°C			+205°C			+260°C			+315°C			+370°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
T1	145	105	20	60	45	40	31	24	75	22	17	80	16	14	105
T5	140	125	20	60	45	40	31	24	75	22	17	80	16	14	105
T6	145	140	20	60	45	40	31	24	75	22	17	80	16	14	105

Rm N/mm²; Rp N/mm²; A 5,6 5%.

- **Carga de rotura (Rm):** 215 N/mm²
- **Límite elástico (Rp):** 175 N/mm²
- **Límite a fatiga:** 150 N/mm²
- **Resistencia a la cizalladura:** 135 N/mm²
- **Dureza:** 60 (Brinell)

Según el catálogo de www.broncesval.com, esta aleación de aluminio, magnesio y silicio, siendo MB (muy bueno), B (bueno), R (regular) y M (malo, evitar), posee un comportamiento a:

Soldadura

A la llama: B

Al arco bajo gas argón: B

Por resistencia eléctrica: MB

Braseado: MB

En agua de mar: R

Embutición

Por expansión: M

Embutición profunda: R

Mecanización

Fragmentación de la viruta: R

Brillo de superficie: MB

Anodizado

De protección: MB

Decorativo: B

Anodizado duro: MB

Comportamiento natural

En ambiente rural: MB

En ambiente industrial: MB

En ambiente marino: B

Repujado: R

Módulo elástico: 69.000 N/mm²

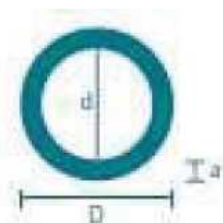
Peso espec.: 2,7 gr/cm³

Temp. Fusión: 580-650 °C

Coef. Dilatación lineal: 23,5

El perfil que buscamos para el chasis no debe ser muy pequeño, porque necesitamos hacer agujeros de un determinado tamaño para fijar componentes al chasis, ni muy grande ya que el volumen y el peso han de ser mínimos.

Para nuestra aleación tenemos uno que a simple vista parece adecuado, el 1.08.310, un perfil circular de 25 mm de diámetro exterior y de 2 mm de espesor. Todas las barras tendrán este perfil, exceptuando las barras 7-8, 8-10 y 2-9, por motivos que expondremos a continuación.



Código	D mm	d mm	a mm	Aleación	M _{lx} cm ³	W _x cm ³
1.08.180	12,0	10,0	1,00	6060/6063-T5	0,053	0,068
1.08.195	13,0	10,5	1,25	6060/6063-T5	0,081	0,124
1.08.225	16,0	13,0	1,50	6060/6063-T5	0,182	0,227
1.08.235	18,0	15,0	1,50	6060/6063-T5	0,267	0,296
1.08.260	20,0	17,0	1,50	6060/6063-T5	0,375	0,375
1.08.285	22,0	19,0	1,50	6060/6063-T5	0,510	0,464
1.08.310	25,0	21,0	2,00	6060/6063-T5	0,963	0,770
1.08.315	25,0	22,0	1,50	6060/6063-T5	0,768	0,614
1.08.340	26,0	16,5	4,75	6060/6063-T5	1,879	1,446
21.82.006.340.08	25,6	16,5	4,55	6082-T6	1,744	1,363
1.08.345	26,0	22,0	2,00	6060/6063-T5	1,093	0,841
1.08.370	30,0	20,0	5,00	6060/6063-T5	3,191	2,127
1.08.380	30,0	24,0	3,00	6060/6063-T5	2,347	1,565
21.82.006.380.08	30,0	24,0	3,00	6082-T6	2,347	1,565
1.08.385	30,0	25,0	2,50	6060/6063-T5	2,059	1,373
1.08.390	30,0	26,0	2,00	6060/6063-T5	1,733	1,155
1.08.395	30,0	27,0	1,50	6060/6063-T5	1,367	0,912

Para mayor atractivo y una mayor resistencia a los esfuerzos producidos por el avance de la silla (esfuerzos en la dirección longitudinal), las barras 7-8 y 8-10 tendrán un perfil elíptico de eje mayor de 40 mm, eje menor de 20 mm y espesor de 2mm. El aspecto que dan a la silla evoca al de una bicicleta de montaña, dándole un toque moderno y deportivo.

La barra 9-2 será una pieza cilíndrica especial, mecanizada de forma que aloje los rodamientos y permita en su interior el giro del caster.

Todas estas piezas irán unidas entre sí mediante soldadura. Por esta razón, para facilitar el proceso de cálculo, consideramos en Catia que el chasis es una sola pieza.



En la figura vemos cómo quedaría el chasis.

Para fijar el reposabrazos tiene hechos una serie de agujeros a lo largo de las barras 3-4 y 4-6. Otros sólo a través de 4-6 para fijar la tela del asiento. Próximos a los puntos 1 y 11 hay otros agujeros para fijar el eje y el reposapiés, respectivamente. La posición exacta vendrá detallada más adelante en los planos.

Hechos los agujeros, efectuamos el cálculo en Catia mediante elementos finitos. Aplicamos una fuerza distribuida vertical de **150 N** sobre cada lado del respaldo. Así obtendremos un valor mayor que el doble de F_A ($Q_A \times 0,32 \text{ sen } 7 = 119,3 \text{ N}$, unos 60 N para cada lado), con el fin de prevenir la estructura de cualquier sobreesfuerzo que haga el usuario sobre este al sentarse. Otra carga de **1200 N** a lo largo del asiento, en ambos lados, emulará parte del tronco y las piernas.

Recordemos que la fuerza que soporta es:

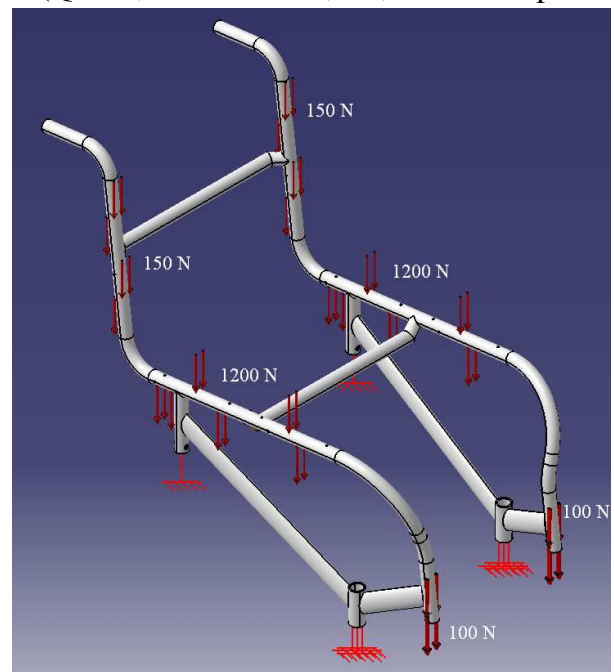
$$F_{\text{Asiento}} = Q_A \times L + Q_B \times (0,46 \cos 7)$$

Siendo $L=0,259 \text{ m}$ y analizando sólo un lado

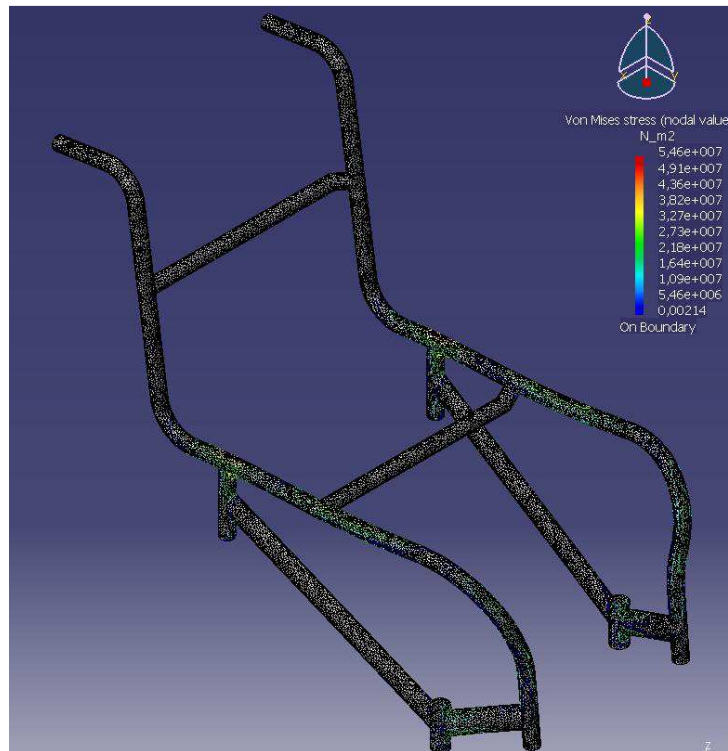
$$1200 \text{ N} > (Q_A + Q_B) \times (0,46 \cos 7) > Q_A \times L + Q_B \times (0,46 \cos 7)$$

Otra de **100 N** ($>F_C$) corresponderá al peso de las piernas inferiores. Debería repartirse entre los dos lados pero exageraremos la carga por si acaso.

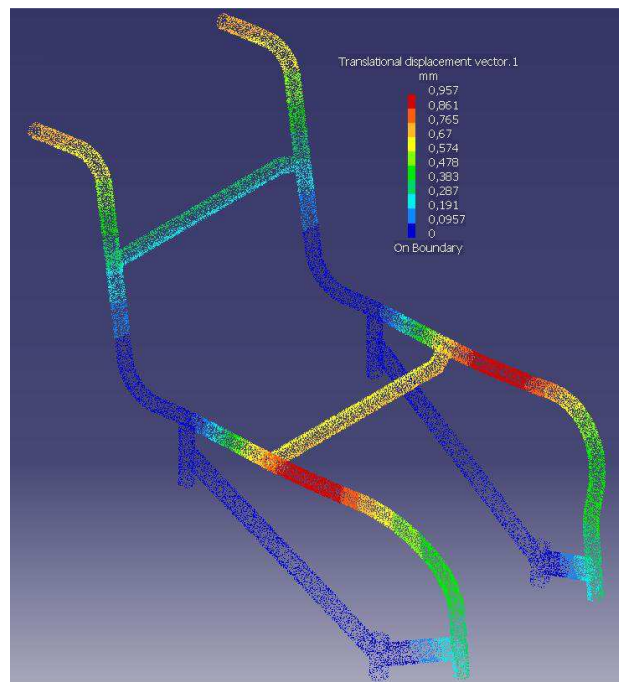
Por último, dejamos anclados los puntos 1 y 2, que son dónde irían las ruedas sobre las que se apoyaría el sistema completo.



El análisis en Catia nos da los siguientes resultados:



La tensión máxima de Von Mises aportada por Catia es de $5,46E+07 \text{ N/m}^2$. Para saber si el diseño es correcto debemos comprobar que las tensiones máximas no superen el límite elástico del material, de un valor de 175 N/mm^2 ($1,75E+08 \text{ N/m}^2$). Al no superar el límite elástico, la única deformación producida es elástica.



El desplazamiento máximo producido es de 0,957 mm (sobre el eje vertical) por la zona sobre la que descansan los muslos.

Estos datos no son suficientes para validar el diseño, pues sólo nos informan sobre la no deformación plástica del material.

Para validar totalmente el chasis, se ha realizado un estudio según la teoría de Von Mises-Hencky, ya que el aluminio es un material dúctil. Esta teoría es una adaptación a la teoría de cortadura máxima, donde se establece que una pieza fallará cuando la tensión máxima alcance en un punto el valor del esfuerzo cortante máximo en el fallo en el ensayo a tracción. Dicho esto, un elemento estructural falla si:

$$\tau_{\max} = \sigma_Y / 2$$

Siendo σ_Y la tensión del límite elástico del material de la pieza ($1,75\text{E}+08 \text{ N/m}^2$)

Por tanto

$$\tau_{\max} = \sigma_Y / 2 = 1,75\text{E}+08 / 2 = 8,75\text{E} + 07 \text{ N/m}^2$$

Para mayor seguridad, mayorizamos el límite cortante máximo:

$$\tau_{\max} / 1,5 = 5,83 \text{ E}+07 \text{ N/m}^2 > 5,46\text{E}+07 \text{ N/m}^2$$

La tensión máxima de **$5,46\text{E}+07 \text{ N/m}^2$** obtenida es los resultados **es inferior al límite cortante máximo del material**, aun estando mayorizado. Siendo así, sabemos que el chasis puede soportar perfectamente el peso de un usuario de unos 150 kg, además de sobrecargas circunstanciales.

Ya tenemos diseñado y validado el chasis. **El peso de éste es de unos 2,3 kg**, dato relevante, puesto que el peso total de la silla afecta a la calidad del producto. Recordamos que la **distribución del peso es de un 73,5% para las ruedas delanteras y de un 26,5% para las traseras**.

7.3. Reposabrazos

Antes que nada, debemos recordar dos de los puntos relativos al posa-brazos mencionados con anterioridad:

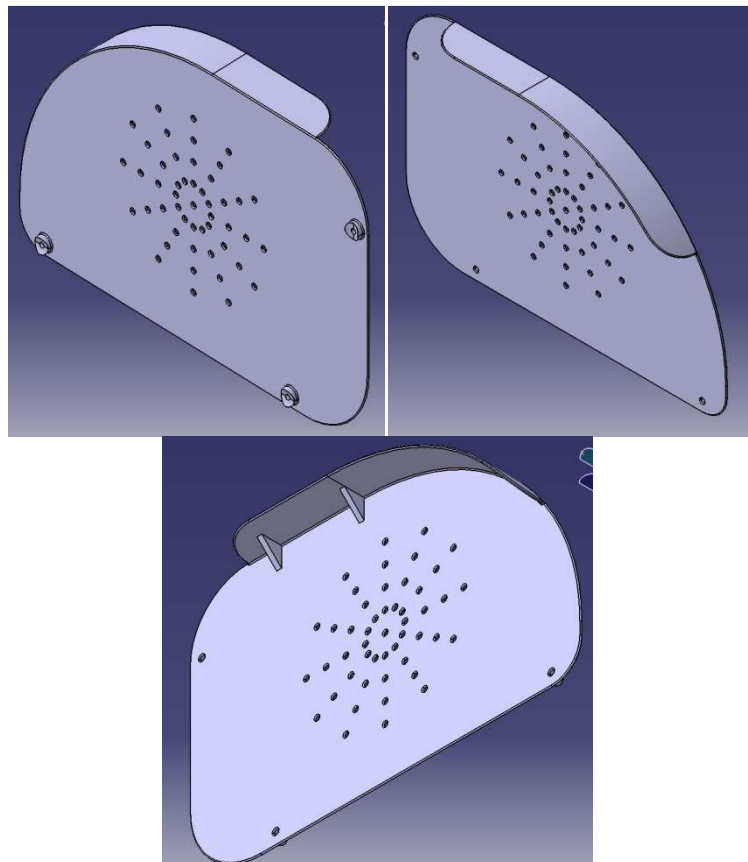
- “La **altura del reposabrazos** tiene un promedio de 71,68, por lo que la medida a la que queremos aspirar en el diseño será de, aproximadamente, **72 cm**, con el fin de que los brazos descansen mejor sobre este apoyo y no dejar caer demasiado los hombros para ello.”
- “En las sillas de ruedas previstas para adultos, la altura del reposabrazos debería estar comprendida entre 155 mm y 325 mm, cuando se mida como se especifica en la Norma ISO 7176-7:1998.”

Conociendo esto, podemos proceder al diseño de éste.

Se ha de hacer uso de los reposabrazos en los momentos que se necesite descansar los brazos o bien salir de la silla ayudándose de éstos.

Hemos pensado en un diseño sencillo y ligero, que resista las cargas a las que se verá sometido durante su uso.

Se trata de una lámina (de un espesor de 2 mm) de la misma aleación de aluminio que la del chasis (EN W 6063) que permite el reposo de los brazos y a su vez protege las extremidades y la ropa del movimiento de las ruedas.

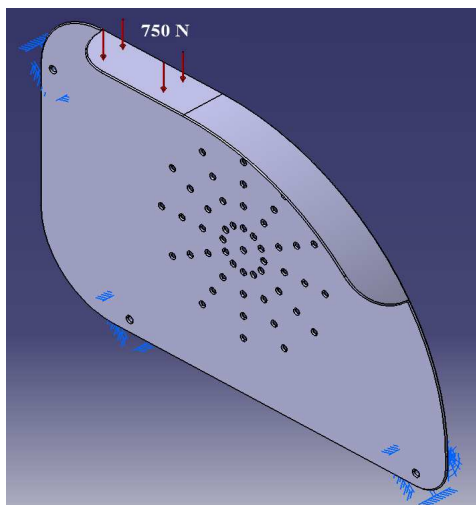


Dispone de unos agujeros por los que van los tornillos para fijarlo al chasis. Los agujeros que forman el dibujo circular están pensados para ventilar el interior del asiento y así evitar la posible acumulación de calor y/u olor. Debajo de la chapa donde se apoyan los brazos, tenemos dos refuerzos que reducen la deformación del reposabrazos debido al peso.

Supongamos que un usuario de 150 kg se ayuda de este componente para levantarse de la silla. Al haber un reposabrazos a cada lado, cada uno tendría que soportar unos 75 kg.

Supongamos también que ese peso se concentra en el área de cada mano. Contra menos área haya para distribuir el peso, mayor será la presión ejercida y mayor el sufrimiento de la pieza, por lo que éste podría ser un caso límite.

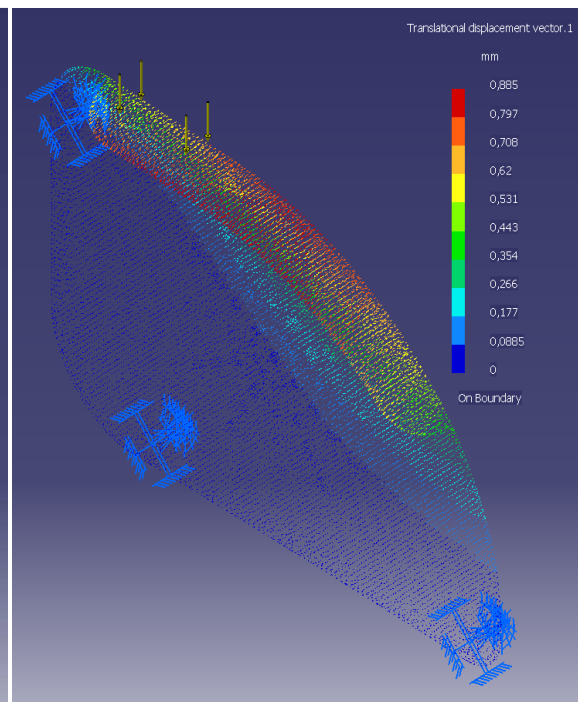
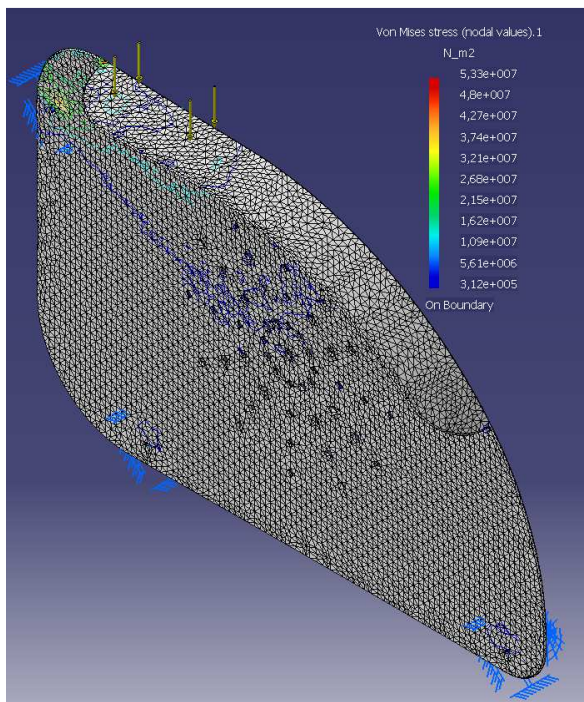
Debido a la complejidad para el cálculo manual de las tensiones en esta pieza, hallamos las tensiones de Von Mises a través de Catia.



Primero, definimos los tres puntos donde se fija la pieza, señalados en la figura por las líneas azules.

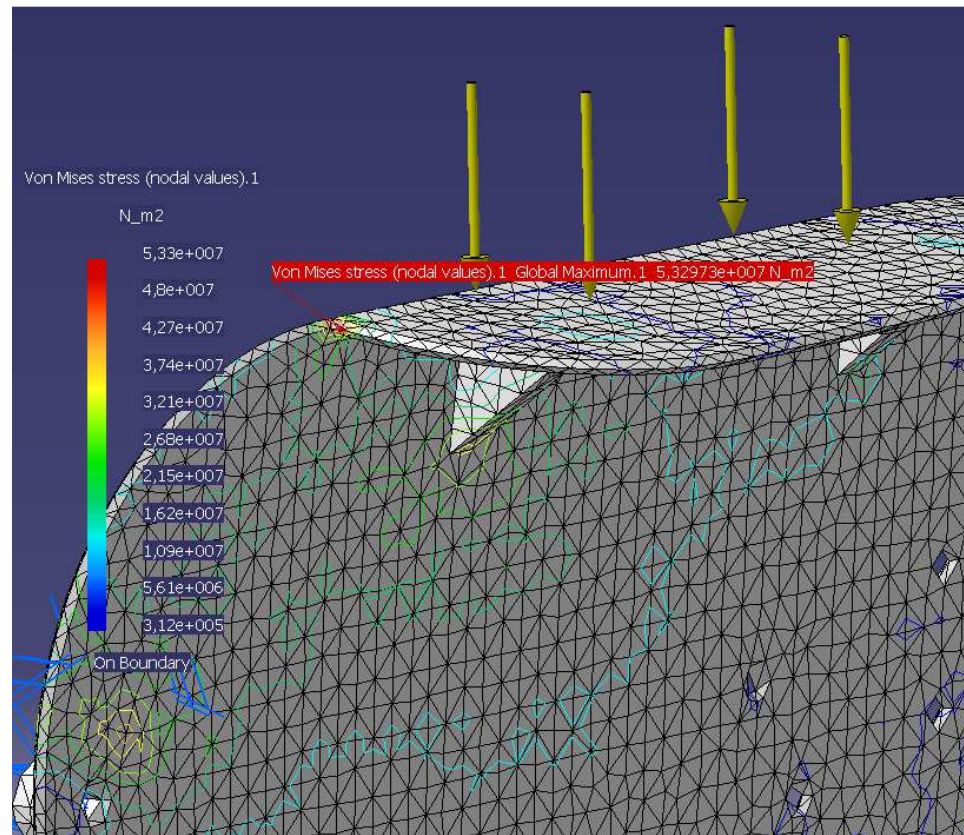
A continuación aplicamos una fuerza distribuida de 750 N por el área en la que suponemos que se apoya la mano (flechas rojas).

Procedemos al cálculo mediante elementos finitos. Los resultados son los siguientes:

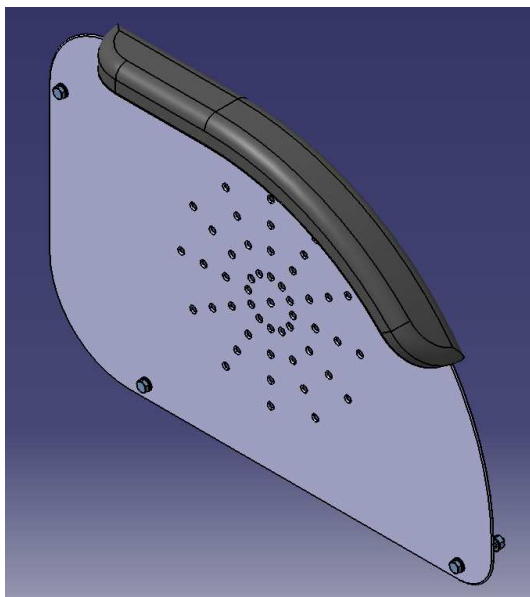


La tensión máxima es de $5,33E+07 \text{ N/m}^2$ y está localizada por debajo de la zona donde se aplica la carga. La pieza puede resistir debido a que la tensión máxima es menor que el

límite mayorizado ($\tau_{\max} / 1,5 = 5,83 \text{ E}+07 \text{ N/m}^2$). El desplazamiento máximo es de 0,885 mm y se da en la zona superior delantera, en la más alejada de los puntos de sujeción.



El conjunto del reposabrazos entero, con el acolchado y la tornillería, se muestran en esta figura:



Sobre la superficie superior de esta pieza va pegado el acolchado del reposabrazos. Este será de cuero sintético de poliuretano relleno de espuma.

Mediante tornillos normalizados de métrica 5, el conjunto quedará fijado en el chasis.

La altura del suelo al reposabrazos y la altura efectiva de éste rondan los 74 cm y los 25 cm, respectivamente, por lo que cumplimos con los objetivos puestos al principio de este apartado.

El peso del conjunto es de unos 820 gr.

El número total de piezas que contiene es de 14.

7.4. Reposapiés

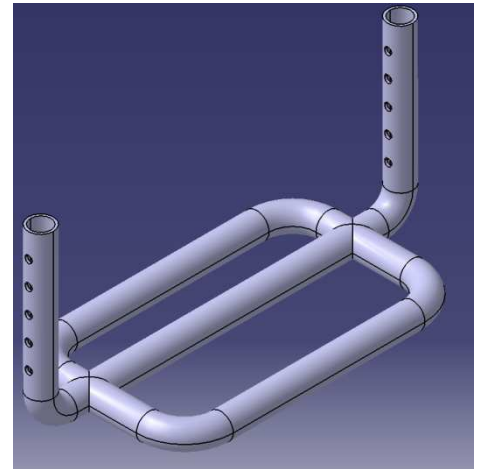
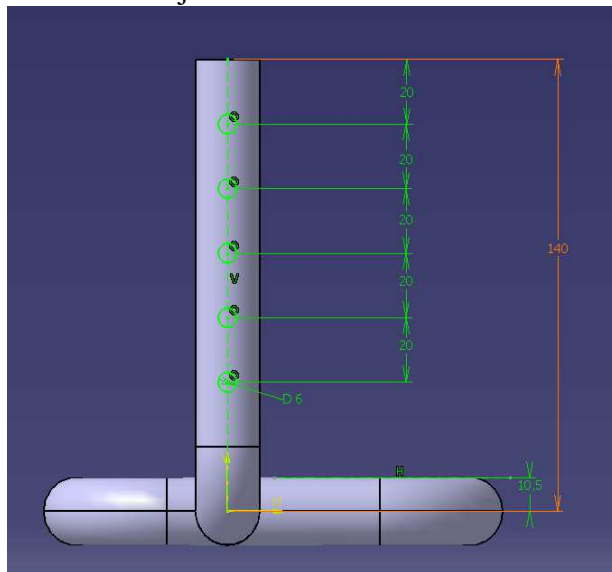
Recordemos los puntos de apartados anteriores que debemos tener en cuenta para el diseño del reposapiés.

- “El reposapiés debe disponer de un medio para **posicionar los pies del ocupante a la altura requerida** (con intervalos que no excedan los 25mm), que impida que los pies se deslicen hacia atrás y que se fije de forma segura. La separación entre ellos no debe exceder de 35 mm (para un adulto) o 25 mm (para un niño).”
- El reposapiés ha de ser operable sin el empleo de herramientas, estar accesible y ser accionable por el ocupante o el acompañante.
- Los valores entre los que se comprende la longitud de la pantorrilla pueden ir **desde los 25 a los 47 cm**.
- La distancia entre el reposapiés y el suelo **debe ser mayor a los 5 cm**. Se recomienda que sea mayor a los 10 cm para evitar tropiezos.

Respetando los anteriores puntos, hemos diseñado un conjunto que consta de 3 partes:

- Reposapiés

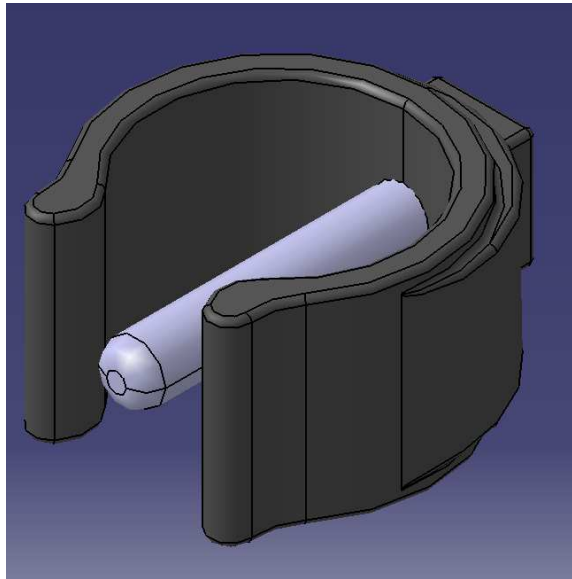
Se trata de dos barras de 6063 de perfiles circulares ($d=21\text{mm}$, $e = 2$), una rectangular con esquinas redondeadas y otra en forma de U, que van soldadas perpendicularmente entre sí. En una de ellas se taladran 5 agujeros de métrica 6 distanciados a 20mm ($<35\text{mm}$) para el ajuste del conjunto.



Con esta geometría, nos aseguramos que la longitud del asiento al reposapiés sea de un mínimo de 340 mm y de un máximo de 420 mm, estando a una distancia del suelo de unos 9 mm. Hemos abarcado gran todas las longitudes de pantorrilla que hemos podido respetando la distancia con el suelo.

- Abrazaderas

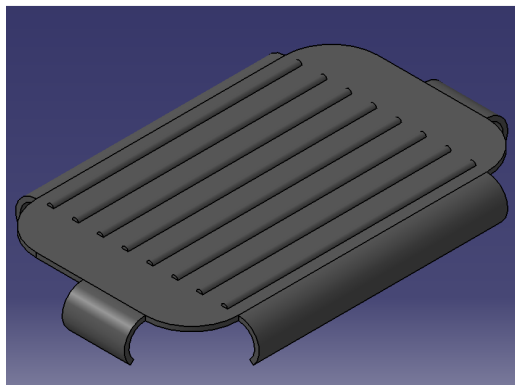
Hemos dado con un sistema que nos permite fijar el reposapiés al chasis de forma rápida, cómoda y sin el empleo de herramientas.



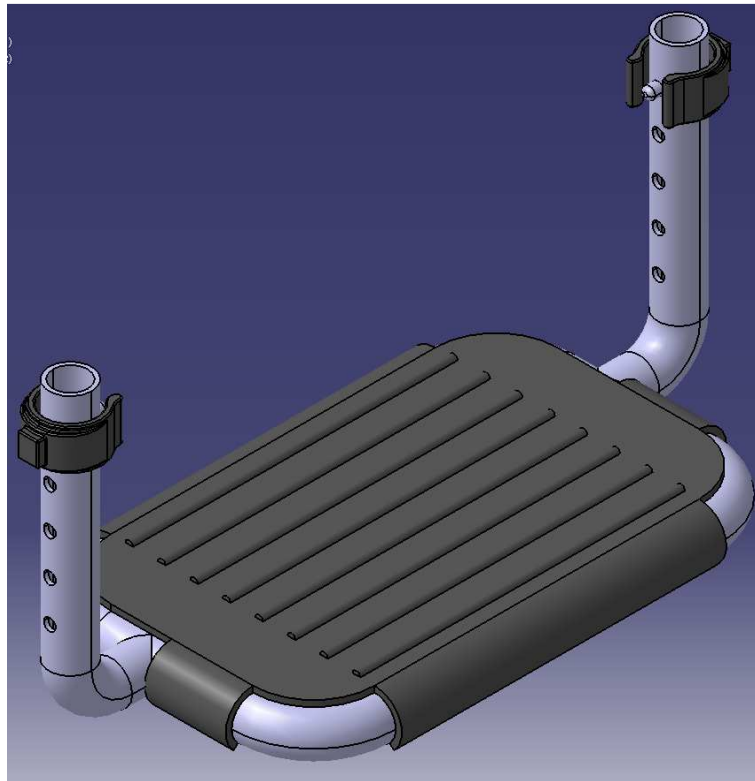
Este sistema consta de un par de abrazaderas de nylon con un pasador de acero pegado. Mientras las abrazaderas se fijan al chasis el pasador sujeta el reposapiés.

- Tapa

Colocamos una tapa de nylon en el reposapiés para que los pies no se cuelen dentro de los agujeros de éste. A lo largo de la tapa tenemos una serie de estrías que impiden que el calzado se resbale.



Así pues, el conjunto del reposapiés montado sería tal que así:



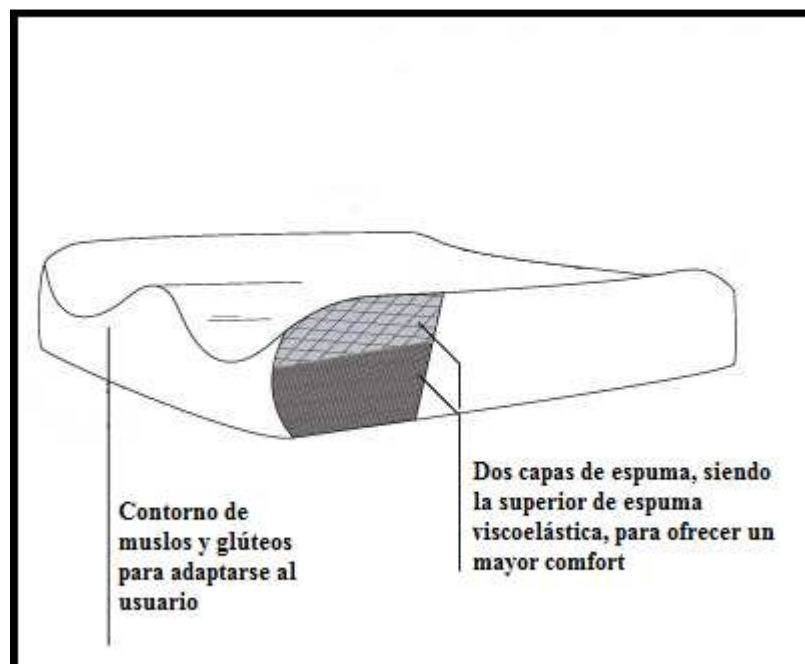
El reposapiés consta de un total de 6 elementos y tiene un peso total de unos 560 gr.

El peso a soportar es de unos 10 kg (el correspondiente a las piernas inferiores). No lo consideramos un riesgo puesto que es un peso relativamente ligero y el usuario no tiene movilidad en esa zona, con lo que apenas existe daño a fatiga.

7.5. Asiento

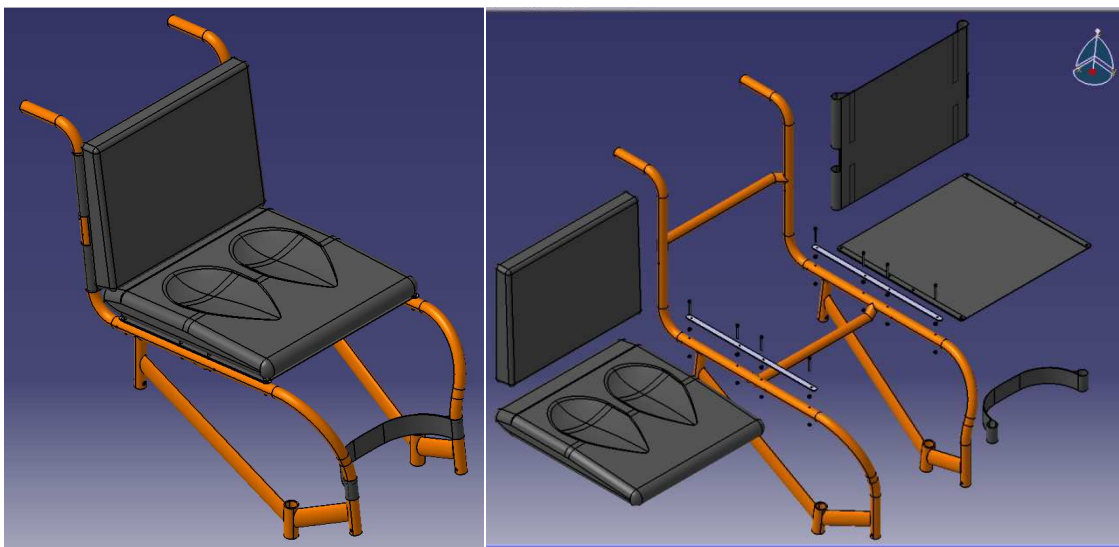
El asiento seguirá la misma línea que han ido siguiendo la mayoría de empresas de la actualidad, con ligeras variaciones. Éste estará compuesto por:

- Las telas de sujeción: fabricadas con un tejido de nylon, su función es soportar el peso del cuerpo.
Una de ellas se colocará en las barras verticales del chasis. Se introducirá por la zona de las empuñaduras y una vez que la costura choque con la barra horizontal del respaldo, los pliegues inferiores rodearán las barras verticales del chasis y se fijarán con velcro.
La otra pieza de tela, con la ayuda de unas guías de acero introducidas a cada extremo de ésta, se atornillará a la base del asiento del chasis, de forma que quede moderadamente tensa. Para ello, dispondrá de una serie de agujeros por los que pasarán los tornillos.
Una tercera tela sostendrá los gemelos para que los pies no se muevan de la plataforma del reposapiés.
- El acolchado: estará compuesto también por dos piezas, de las cuales una corresponderá a la espalda y la otra a los glúteos y muslos. La pieza inferior se apoyará sobre la tela de sujeción del asiento, mientras que la superior irá sobre la primera y a su vez quedará pegada a la tela del respaldo mediante dos tiras de velcro. El relleno de ambas piezas será de espuma de poliuretano. No obstante, la correspondiente a los muslos y glúteos, tendrá una capa superior de espuma viscoelástica para ofrecer un contacto más agradable y cómodo.
Las fundas se fabricarán con cuero de pu o cuero sintético, que aparte de ser impermeable le da un aspecto al asiento más atractivo y posee un tacto suave y agradable.

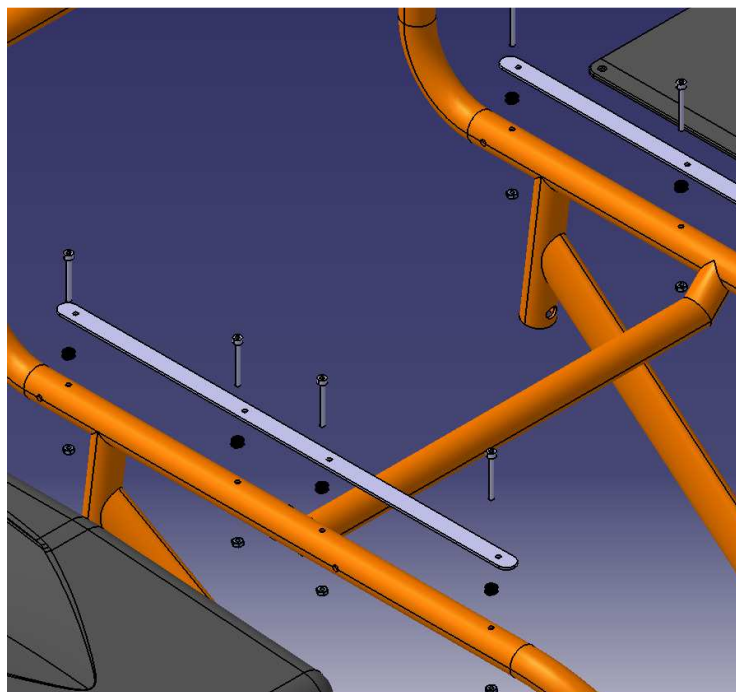


- Guías: su función es impedir que la tela de sujeción se rasgue a causa de la tensión en los tornillos. Son dos placas alargadas de acero que se introducen por las ranuras de los extremos de la tela. Disponen de unos agujeros que deben coincidir con los de la tela para hacer pasar el tornillo por ellos, de esta forma, el conjunto quedará bien sujeto al chasis.
- Tornillería: el deber de la tornillería es fijar el sistema asiento al chasis. Para esta tarea, vamos a distribuir a ambos lados del chasis un total de 8 tornillos Allen de métrica 4, así como sus correspondientes tuercas y una serie de fijaciones de plástico que se amoldarán a la forma del chasis y a la de la cabeza del tornillo para un mejor agarre.

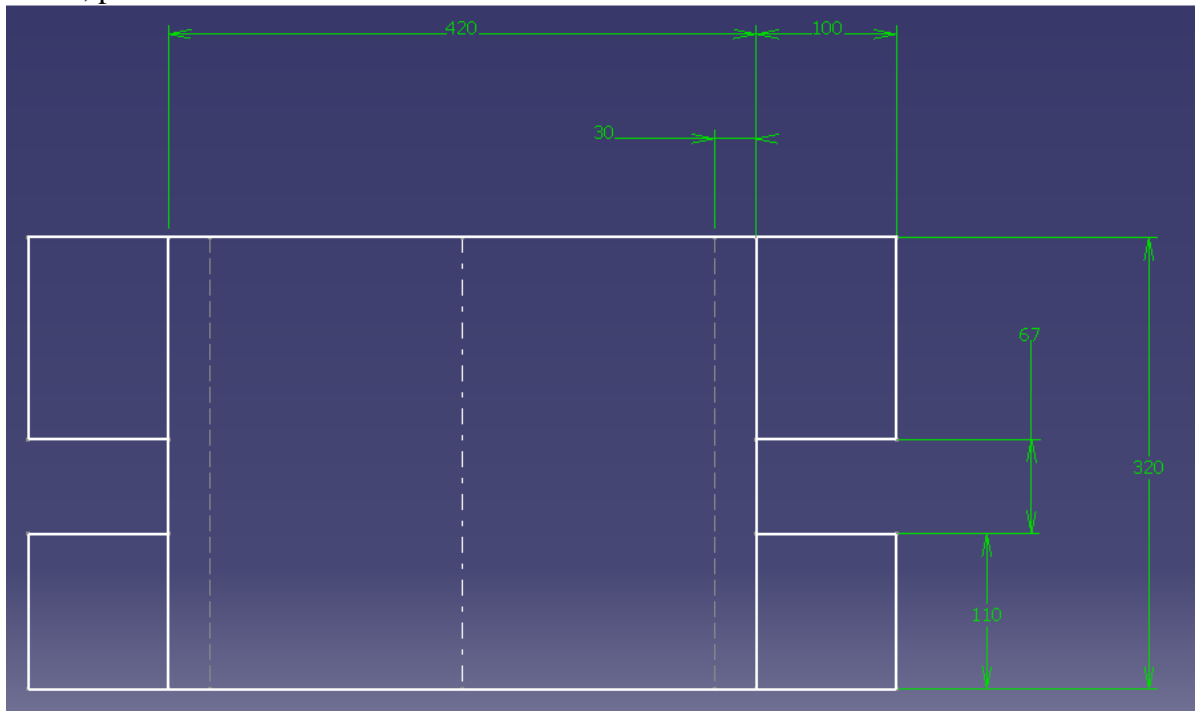
Así se apreciaría el conjunto en una simulación virtual a través de Catia:



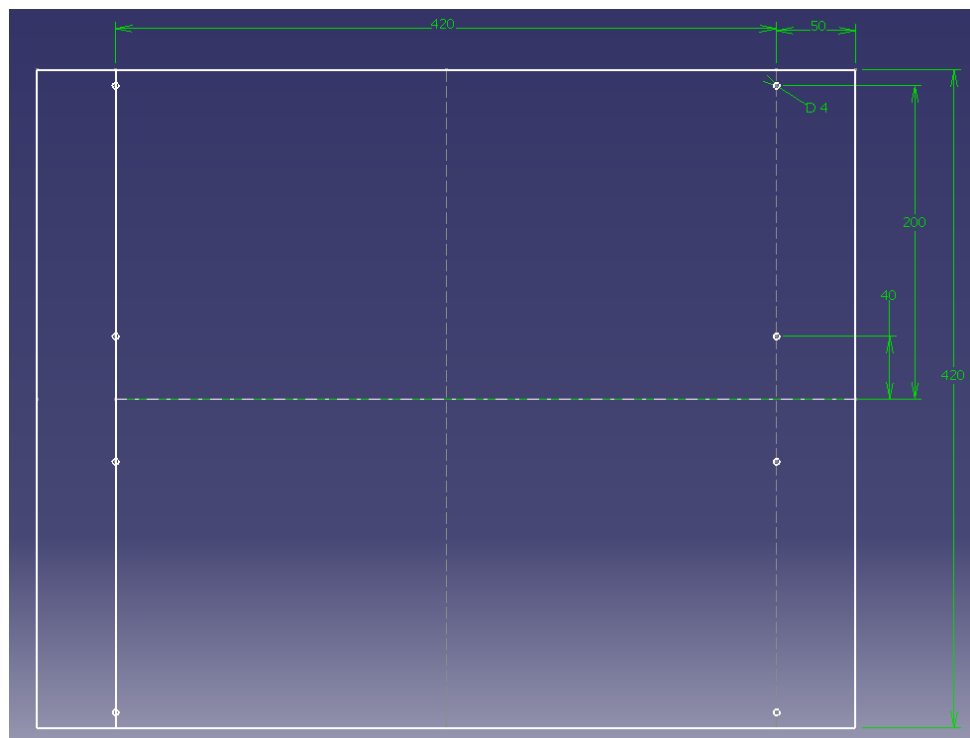
La siguiente imagen muestra más de cerca la distribución de los tornillos a lo largo de las guías:



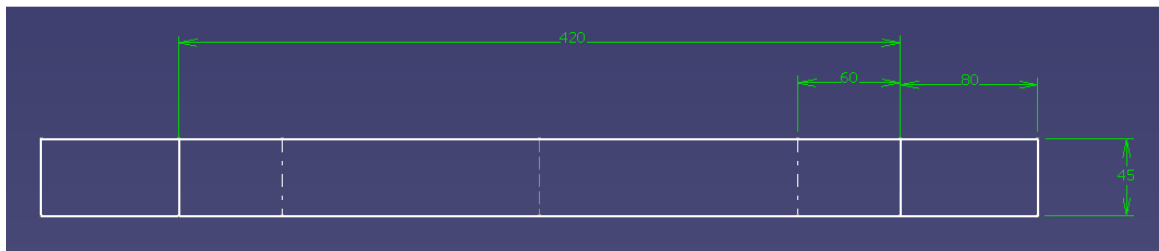
La tela donde reposa la espalda tendrá aproximadamente las siguientes medidas. A los costados vemos los pliegues que rodean las barras del chasis y las líneas discontinuas representan la línea de costura, en el caso de la parte superior, y la zona donde iría el velcro, parte inferior.



En esta otra imagen se ven representadas las medidas aproximadas de la tela del asiento, con la distribución de los agujeros por donde pasan los tornillos. La línea de costura es la misma que en el anterior figura, puesto que el diámetro de las barras sigue siendo el mismo.



Por último, mostramos las dimensiones de la tercera pieza de tela correspondiente a la correa de la pantorrilla



El total de elementos del asiento es de 31 y el peso de todo, según Catia es de 0,927 kg.

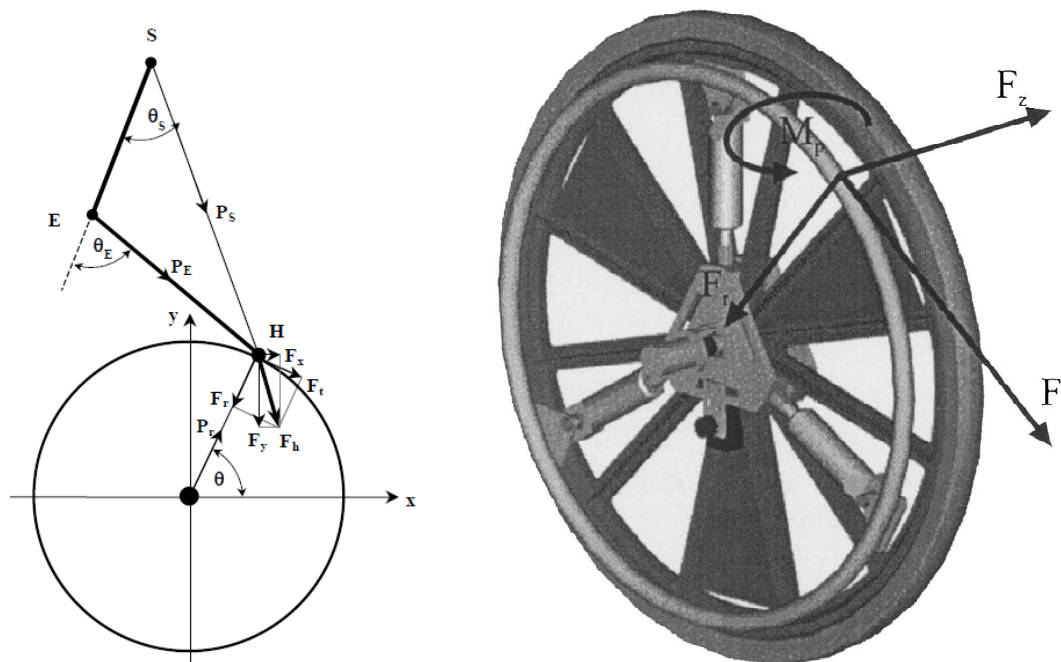
7.6. Palancas de propulsión

A continuación nos centraremos en la parte más compleja y el punto fuerte en la innovación del diseño de la silla: las palancas de propulsión. Como bien hemos mencionado antes, el propósito de este sistema es reducir el esfuerzo realizado por el usuario al propulsar la silla, así como hacer más cómodos los movimientos.

En el resto de sillas, el ocupante hace girar las ruedas a través de los aros fijados en las ruedas, sin embargo, nosotros elaboraremos un sistema de palanca provisto con un mecanismo trinquete que hará que la rueda gire solidaria a él en un solo sentido elegido por el usuario. De esta forma, mediante un movimiento de vaivén, el desplazamiento será menos costoso por la postura de asiento tomada y por el esfuerzo a realizar, siendo éste menor debido a que se realiza un mayor momento gracias a la palanca.

7.6.1. Cálculo a fatiga

La siguiente información ha sido obtenida del artículo “*Pushrim kinetics and nerve fuction*” de **Michael L. Boninger**. El esquema de fuerzas correspondiente a un brazo empujando el aro de propulsión es el siguiente.



La fuerza tangencial viene representada como F_t , la radial por F_r , y la axial por F_z . Las características del sujeto del ensayo son las siguientes:

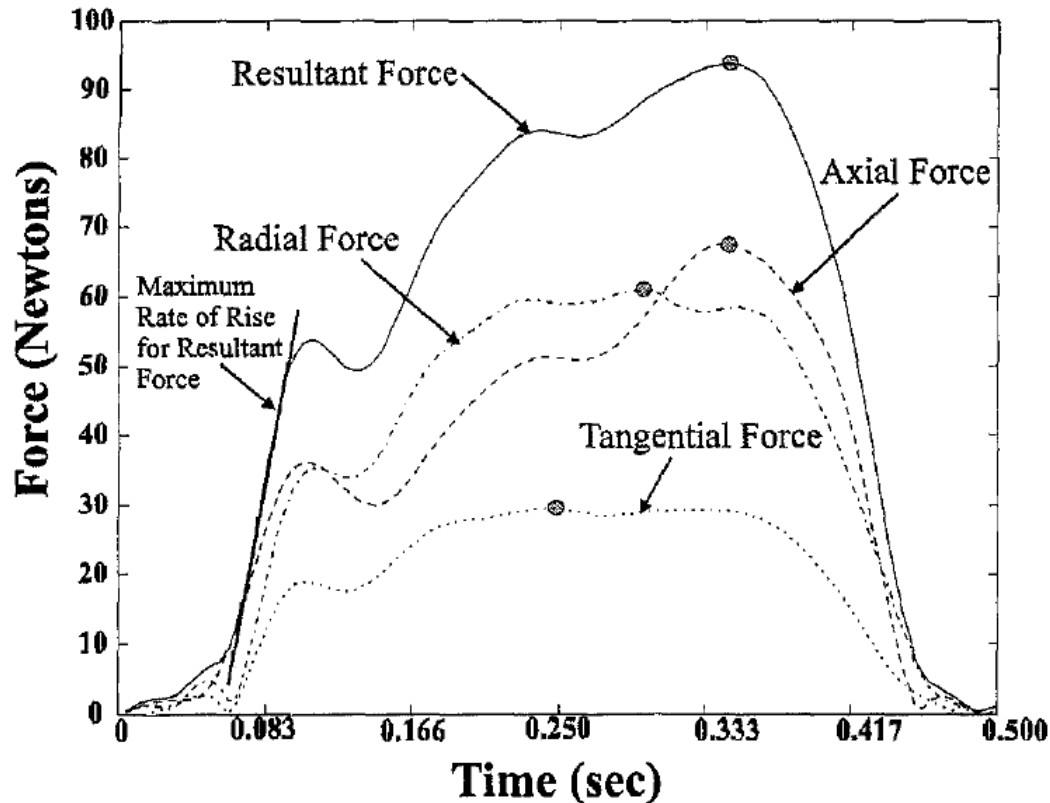
Table 1: Subject Characteristics

	Mean (SD)	Maximum	Minimum
Age (yrs)	34.9 (8.2)	53.1	20.7
Duration of SCI (yrs)	12.0 (12.0)	25.2	1.3
Height (cm)	175 (10)	203	154.9
Weight (N)	732 (171)	1035	424
BMI (kg/m ²)	24.1 (5.0)	37.4	14.9

$n = 34$ (11 women, 23 men).

El dato que más nos interesa es el peso. **El peso medio es de 732 N, el máximo de 1035 y el mínimo de 424.**

Con estos datos, Boninger plasma las diferentes fuerzas en relación con el tiempo de propulsión en este gráfico:



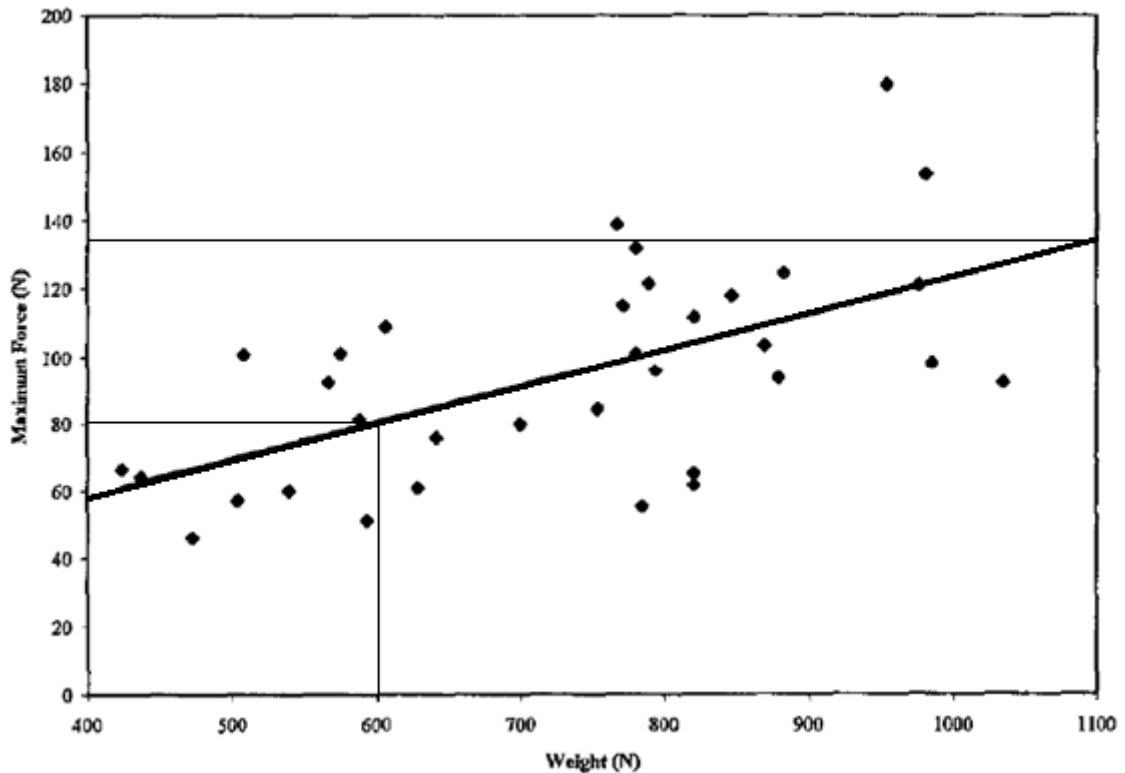
Se observa la magnitud de cada fuerza conforme el sujeto va ejerciendo el movimiento de impulso. **Vemos que las fuerzas máximas son:**

- **Radial; $F_r = 60$ N**
- **Tangencial; $F_t = 30$ N**
- **Axial; $F_z = 70$ N**
- **Resultante; $F_T = 95$ N**

Las únicas fuerzas que nos interesan ahora mismo son la tangencial y la resultante.

La **tangencial** es la fuerza que genera el momento y permite girar la rueda. Sabiendo este dato, podemos diseñar una palanca que disminuya esta fuerza ejercida por el usuario de forma que se amplifique en un mecanismo interno para transmitir con más fuerza. No obstante, la palanca se verá sometida a varios esfuerzos por lo que debemos escoger un valor mayor como medida de precaución. Por esta razón, nos interesa centrarnos en el valor de la **fuerza resultante**, porque es la que está compuesta por todos los esfuerzos.

A continuación, Boninger relaciona la fuerza resultante máxima ejercida con el peso del sujeto con una función lineal obtenida a través de diferentes puntos.



Hallamos la ecuación de la recta:

$$135 = 1100 A + B;$$

$$80 = 600 A + B;$$

$$55 = 500 A$$

$$A = 0,11$$

$$B = 14$$

A pesar de tratarse de una aproximación, nos es muy útil para obtener un valor orientativo.

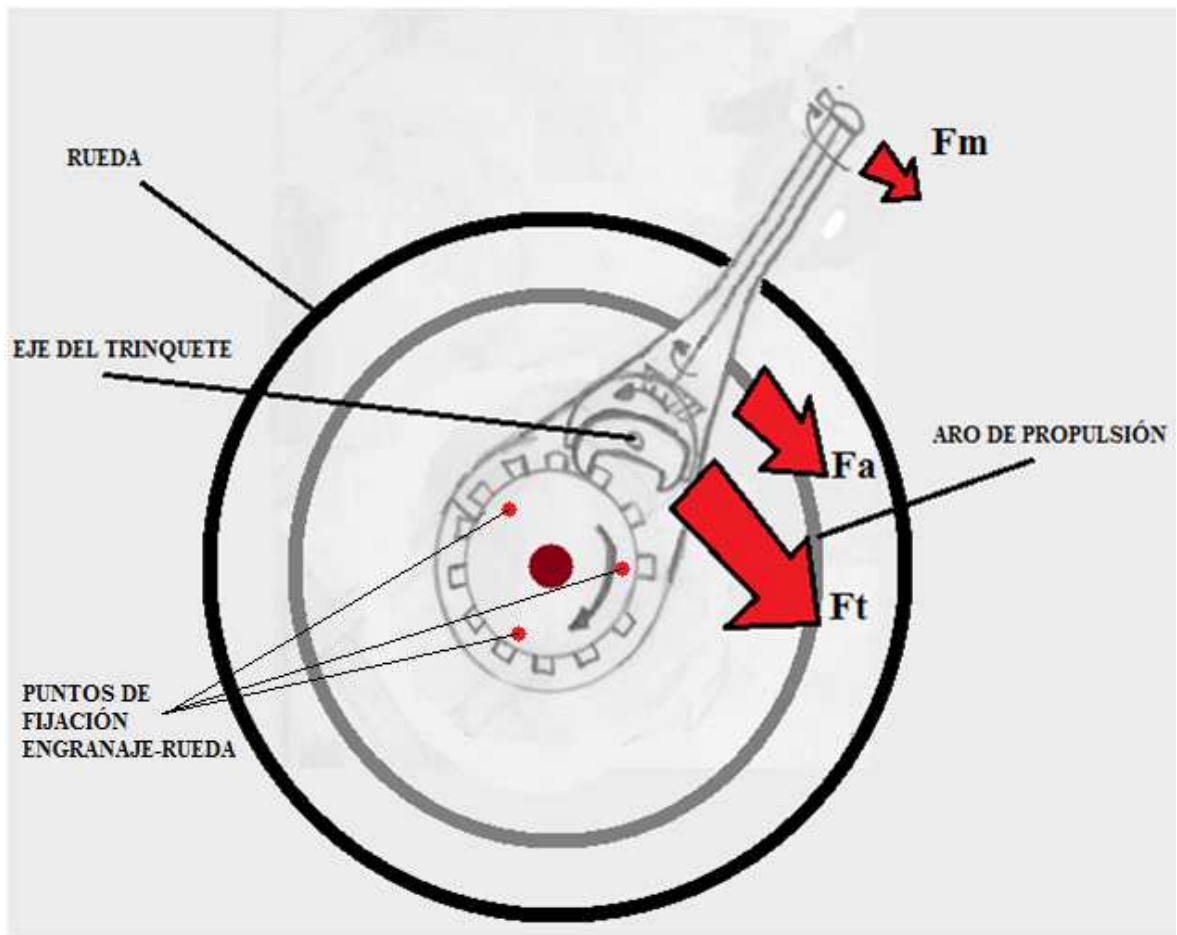
Con dicha ecuación, obtenemos la fuerza requerida para desplazar en la silla los 150 kg máximos que hemos establecido anteriormente.

$$150 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 1.470 \text{ N}$$

$$R = 1470 \times 0,11 + 14 = \underline{\underline{175,7 \text{ N}}}$$

Ahora bien, supongamos que empleamos la **fuerza resultante máxima** como fuerza tangencial para generar el momento de giro de la rueda.

Si añadimos una palanca de longitud superior al radio de la rueda, la fuerza F_m necesaria para hacer girar la rueda será menor que la fuerza aplicada en el aro, F_a . La fuerza F_m es aplicada desde un manillar en el extremo de la palanca y al existir mayor distancia con respecto del eje, el momento generado debería ser mayor para una fuerza igual a la aplicada en el aro o, visto de otra forma, para obtener el mismo momento que si se impulsa la silla desde el aro se requiere de una fuerza menor. En esta imagen aparece un esbozo del sistema y la distribución de las fuerzas.



A través de simples cálculos:

$$M = F \times d$$

$$M_a = M_m$$

$$F_a \times d_a = F_m \times d_m$$

Si $d_a < d_m$ entonces $F_m > F_a$

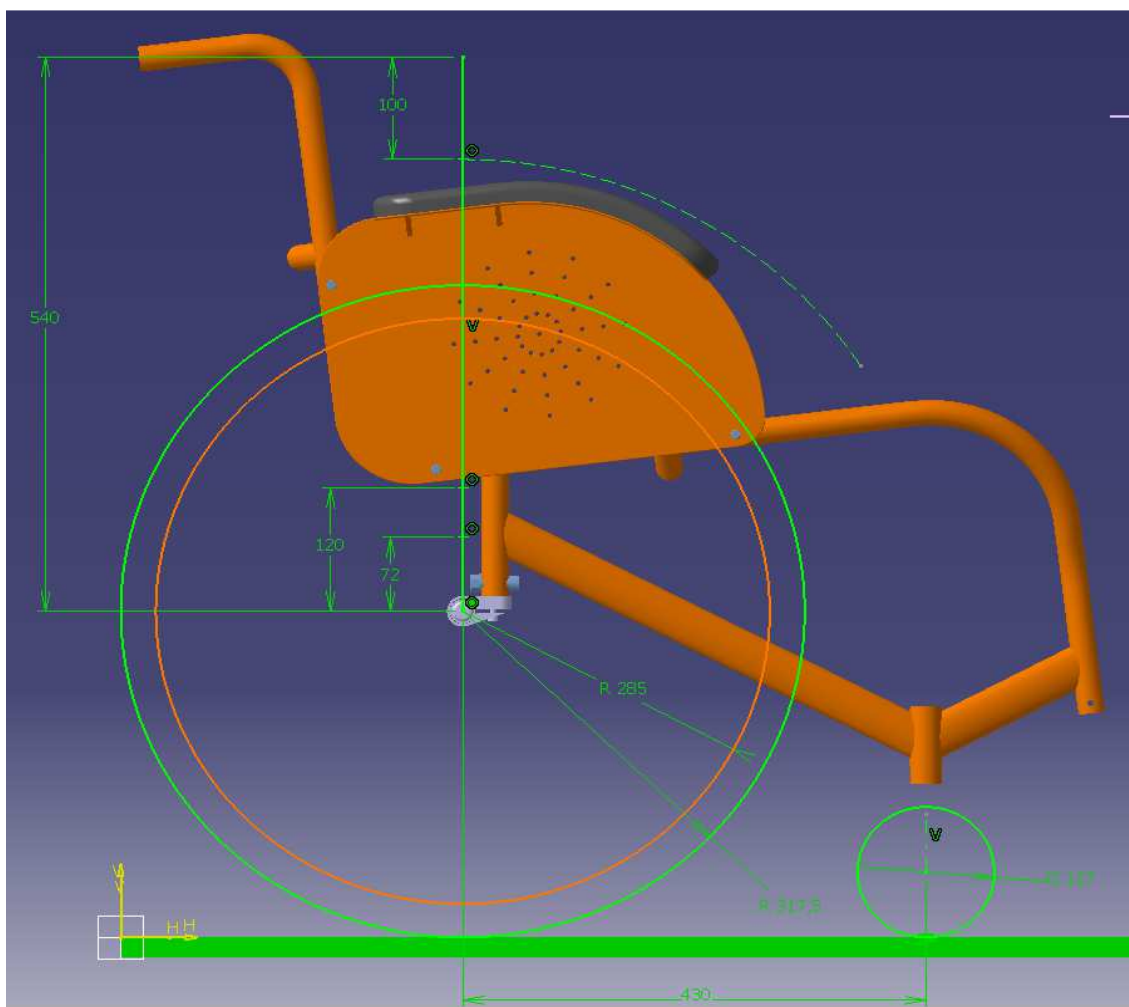
Llegamos entonces a las primeras conclusiones acerca de las dimensiones de la palanca:

- Sabemos que el valor máximo de F_m es de unos **175,7 N**.
- El diámetro del aro propulsor tomará un valor ligeramente inferior al de la rueda trasera. La rueda trasera es de 25 pulgadas (635mm) por lo que un aro de **570mm** ($d_a = 285\text{mm}$) puede resultar adecuado, puesto que permite al usuario manejar la silla sin riesgo de contacto mano-neumático.
- El extremo de la palanca ha de estar por encima del reposabrazos y tener un espacio de margen de, al menos, 10 cm para que se pueda agarrar perfectamente con la mano. Por el contrario, no ha de sobrepasar en demasía esas medidas para no comprometer la ligereza, el volumen o el precio de la silla. Si la palanca posee un radio de 54 cm, cumple perfectamente con su objetivo. Suponemos que F_m se aplica a lo largo de un

manillar de 10 cm, es decir, que su punto de aplicación se situará a **490 mm** del eje de la rueda (distancia d_m).

- El eje del trinquete se encargará de posibilitar el giro del plato sobre el que va el trinquete y de transmitir toda la fuerza que se aplica desde el manillar. Por un lado, si el conjunto es de grandes dimensiones, la fuerza que soportará será menor debido a la distancia con el centro d_t , pero aumentaría considerablemente el peso y volumen de la silla. Por otro lado, un sistema pequeño no sería tan perjudicial, pero estaría sometido a mayores esfuerzos por ser menos d_t . Situamos entonces el eje del trinquete a 12 cm del eje y los puntos de fijación engranaje-rueda a 7,2 cm. Por tanto: **$d_t=120\text{mm}$ y $d_e=72\text{ mm}$.**

En la siguiente imagen se plasman los puntos anteriores:



Calculamos los valores de las fuerzas y los plasmamos en una tabla junto a las distancias.

Nomenclatura	Descripción	Cálculo	Valor
F_a	Fuerza que aplicaría el usuario sobre el aro propulsor	-	175,7 N
d_a	Distancia de F_a con respecto al eje de giro o radio del aro propulsor	-	285 mm
F_m	Fuerza aplicada al manillar de la palanca	$F_m = (F_a \times d_a)/d_m$	102,2 N
d_m	Distancia de F_m con respecto al eje de giro	-	490 mm
F_t	Fuerza transmitida al eje del trinquete	$F_t = (F_a \times d_a)/d_t$	417,3 N
d_a	Distancia del eje del trinquete al eje de la rueda	-	120 mm
F_e	Fuerza que transmite cada unión del engranaje a la rueda	$F_e = [(F_a \times d_a)/d_t]/3$ <i>3 uniones</i>	231,8 N
d_e	Distancia de las uniones del engranaje-rueda al eje de ésta	-	72 mm

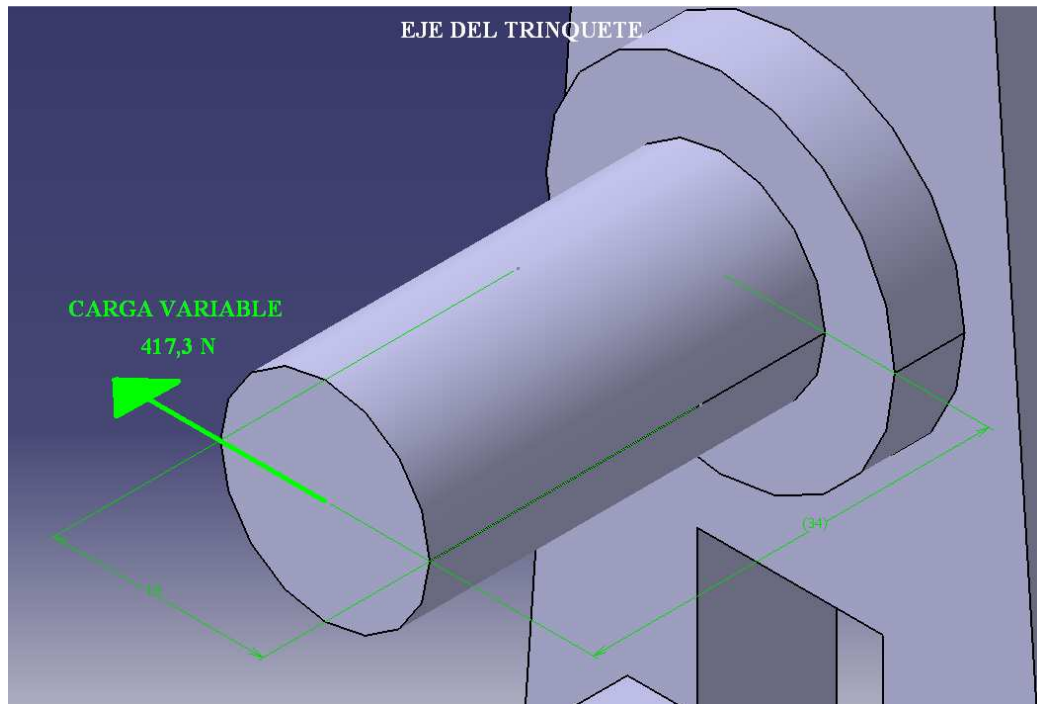
El esfuerzo a realizar con nuestro diseño es más de un 40% menor al que se debe realizar en una silla de ruedas convencional.

La fuerza que transmite el eje del trinquete debemos tenerla en cuenta en el estudio a fatiga porque se pretende que este sistema transmita el giro en los dos sentidos, así que debemos prepararlo para que resista una fuerza que constantemente cambia de dirección. Lo mismo pasa con las uniones a la rueda, con la diferencia de que la fuerza se reparte en tres puntos.

El siguiente paso a dar es comprobar si estas dos partes del mecanismo disponen de una resistencia a la fatiga que les permita durar tanto como el uso del producto lo requiera. Cada vez que se quiera impulsar hacia delante la silla, el mecanismo se verá sometido a una serie de esfuerzos en una dirección. Como se puede cambiar el sentido de la marcha, el mecanismo se ve sometido a una misma fuerza que se presenta en dos sentidos contrarios, lo que se puede interpretar como una carga variable que necesita un correspondiente estudio a fatiga. Por tanto, se procede al estudio de fatiga con los criterios empleados en los libros “**Diseño de elementos de máquinas, Robert L.Mott**” y “**Diseño de máquinas Robert L. Norton**”

Eje del trinquete

El eje del trinquete es una pieza cilíndrica de aleación EN W 6063 T-5. Su longitud L es de 34 mm y su diámetro D es igual a 18 mm. Como medida de precaución, aplicamos la fuerza en el extremo del cilindro debido a que genera mayor momento M y existe un mayor riesgo de falla por fatiga. El esfuerzo a flexión F es de 417,3 N. Se trata de una carga totalmente alternante, cuyo valor es $0 \pm 417,3$ N. Entonces:



$$\sigma = M / W$$

$$M = L * F = 34\text{mm} * 417,3 = 14.188,2 \text{ N*mm}$$

$$W = \pi * (R^3) / 4 = 572,55 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = M / W = 14.188,2 / 572,55 = 24,7 \text{ N/mm}^2 = 24,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 0 \pm 24,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = 24,7 \text{ MPa}$$

Para realizar el cálculo a fatiga, es necesario recurrir a las gráficas que relacionan la resistencia a fatiga (S) con el número de ciclos (N). Para elaborarlas se establece la resistencia a fatiga para un número bajo de ciclos (10^3 ciclos) y el límite de resistencia a fatiga (a 10^6 ciclos). Si las tensiones a las que se ve sometido un elemento están por debajo del límite a fatiga (S_e), se considera que estas no acortan la vida del elemento, es decir, tiene vida infinita.

En el caso de la flexión alternada, la resistencia a fatiga para 1000 ciclos se halla multiplicando la resistencia a tracción por un factor de 0.9.

$$S_{ut} = 175 \text{ MPa (Para una aleación EN W 6063 T-5)}$$

$$0.9S_{ut} = 0.9 * 175 = 157,5 \text{ MPa}$$

Para hallar el límite de resistencia a fatiga es necesario multiplicar el límite teórico por una serie de factores que tienen en cuenta distintos aspectos que condicionan la resistencia de la pieza.

$$S_e = K_a * K_b * K_q * K_g * K_d * K_e * K_c * S_e'$$

- **Se' (Límite a fatiga):** $S_e = 150 \text{ MPa}$ (Obtenido de la tabla de propiedades mecánicas de la aleación EN W 6063 T-5)

- **K_a (Factor de superficie):** $K_a = a(S_{ut})^b$ donde a y b dependen del acabado superficial.

Acabado superficial	a	b
Rectificado	1,58	-0,085
Maquinado o estirado en frío	4,51	-0,265
Rolado en caliente	57,7	-0,718
Forjado	272	-0,995

Para un acabado rectificado tenemos que $K_a = 1,58 \cdot 175^{-0,085} = 1,0186$

- **K_b (Factor de tamaño):** este factor varía según el tipo de carga, la forma y las dimensiones de la sección.

'De' es el diámetro equivalente y para sección circular no rotativa sometida a flexión repetida e invertida es **De = 0,370 D**

$$D = 18 \text{ mm}$$

$$D_e = 18 \cdot 0,370 = 6,66 \text{ mm}$$

$$\text{Para } D_e < 8 \text{ mm } K_b = 1$$

$$\text{Para } 8 < D_e < 250 \text{ mm } K_b = 1,189 d^{-0,097}$$

Empleando el diámetro equivalente en la tabla de factores de tamaño obtenemos que **K_b = 1**.

- **K_q (Factor de carga):** este factor toma distintos valores de aplicación directa según el tipo de carga. Para un esfuerzo de flexión, **K_q = 1**.

- **K_g (Factor de efectos diversos):** tiene en cuenta modificaciones por tipos de acabado o condiciones varias. Al no considerarse ningún tipo de efecto diverso, el valor de **K_g = 1**.

- **K_d (Factor de temperatura):** considera la diferencia de temperatura entre el ensayo y la temperatura de operación. Como la temperatura de uso varía en función de las condiciones climáticas en las que se encuentre el sujeto, tomamos una temperatura predominante en su actividad diaria, la de 20°C. De esta forma, **K_d = 1**.

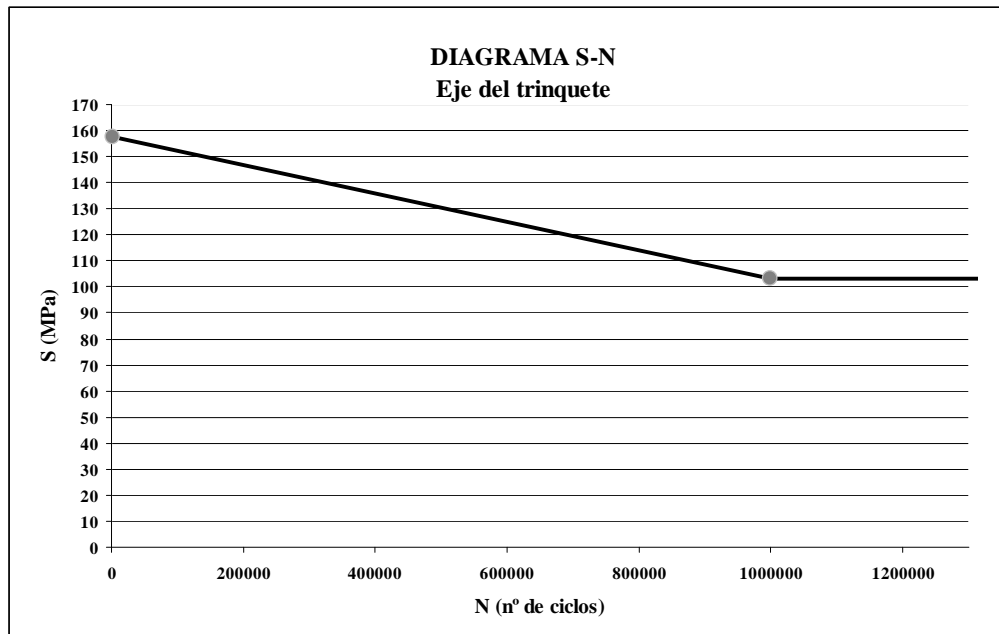
- **K_e (Factor de concentrador de tensiones):** aplicable si se considera la existencia de entalla. Despreciamos la existencia de entalla, por lo que **K_e = 1**.

- **K_c (Factor de confiabilidad):** este factor está asociado a la naturaleza estadística del fenómeno de fatiga, de forma que $K_c = 1 - \sigma D$ donde σ es la desviación estándar de la distribución normal del fenómeno de fatiga, y D el factor de multiplicación de la desviación relacionado con la probabilidad de vida. Para el aluminio 6063-T5 $\sigma = 25\%$, y para una probabilidad de vida del 90% $D = 1.3$ por lo que **K_c = 0.675**.

$$S_e = K_a * K_b * K_q * K_g * K_d * K_e * K_c * S_e'$$

$$S_e = 1,0186 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 0,675 * 150 = 103,13 \text{ MPa}$$

El diagrama S-N queda tal que así:



El límite a fatiga para 10^6 ciclos es de 103,13 MPa, un valor mucho mayor que los 24,7 MPa a los que la pieza se ve sometida, por lo que resiste a un número de ciclos muy elevado. Para determinar el fallo de un componente sometido a tensiones fluctuante, comparamos el término constante de la tensión actuante, σ_m , con el límite a rotura estático, S_{ut} , y el término variable, σ_a , con el límite a fatiga, S_e , por medio del **criterio de Goodman**.

$$\frac{\sigma_m}{\frac{S_{ut}}{cs}} + \frac{\sigma_a}{\frac{S_e}{cs}} = 1 \quad \text{Donde } cs \text{ es el factor de seguridad; } cs=2$$

$$\text{Si } \sigma_m=0 \text{ entonces } \frac{\sigma_a}{S_e} < \frac{1}{cs}$$

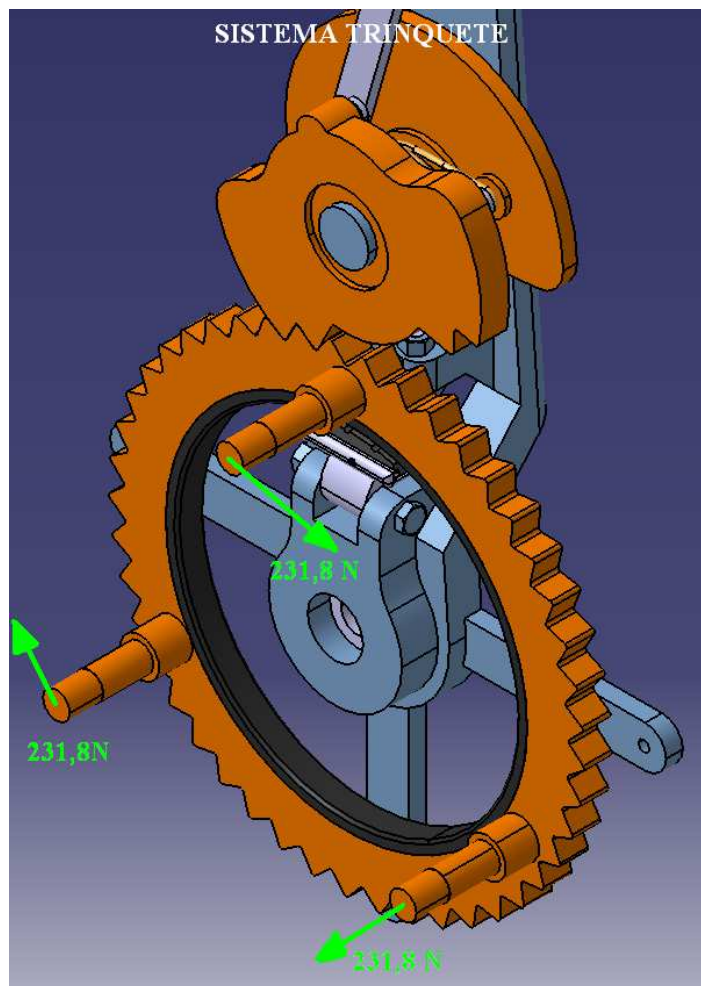
$$24,7/103,13 = 0,24 < 1/2 = 0,50$$

Según el criterio de Goodman, el eje del trinquete resistirá de forma que tenga una vida casi infinita.

Uniones atornilladas del engranaje

Realizamos el mismo procedimiento para los tornillos del engranaje que se fijan a la rueda. Debido a que poseen rosca, le asignaremos los factores más adversos, por si acaso, debido a la complejidad del estudio de la fatiga a flexión en un tornillo.

Suponemos que se trata de una pieza cilíndrica normal, de 10 mm de diámetro y 30 mm de longitud, de **aleación EN W 6063 T-5**. Se tiene en cuenta el diámetro mayor de la rosca porque a mayor volumen, mayor es la probabilidad de encontrar un defecto de tamaño crítico que provoque el inicio de la grieta de fatiga. La fuerza la aplicamos a una distancia aproximada de 20mm (L), respetando la zona donde iría la rosca. Se trata de una carga variable de $0 \pm 231,8$ N por cada tornillo.



$$\sigma = M / W$$

$$M = L * F = 20\text{mm} * 231,8 = 4.636 \text{ N*mm}$$

$$W = \pi * (R^3) / 4 = 98,17 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = M / W = 4.636 / 98,17 = 47,2 \text{ N/mm}^2 = 47,2 \text{ MPa}$$

ó

$$\sigma = 0 \pm 47,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = 47,2 \text{ MPa}$$

En el caso de la flexión alternada, la resistencia a fatiga para 1000 ciclos se halla multiplicando la resistencia a tracción por un factor de 0.9.

$$S_{ut} = 175 \text{ MPa (Para una aleación EN W 6063 T-5)}$$

$$0.9S_{ut} = 0.9 \cdot 175 = 157,5 \text{ MPa}$$

- **Se' (Límite a fatiga):** $S_e = 150 \text{ MPa}$ (Obtenido de la tabla de propiedades mecánicas de la aleación EN W 6063 T-5)

- **K_a (Factor de superficie):** $K_a = a(S_{ut})^b$ donde a y b dependen del acabado superficial.

Acabado superficial	a	b
Rectificado	1,58	-0,085
Maquinado o estirado en frío	4,51	-0,265
Rolado en caliente	57,7	-0,718
Forjado	272	-0,995

Para un acabado de maquinado tenemos que $K_a = 4,51 \cdot 175^{-0,265} = 1,147$

- **K_b (Factor de tamaño):** este factor varía según el tipo de carga, la forma y las dimensiones de la sección.

'De' es el diámetro equivalente y para sección circular no rotativa sometida a flexión repetida e invertida es **De = 0,370 D**

$$D = 10 \text{ mm}$$

$$D_e = 10 \cdot 0,370 = 3,7 \text{ mm}$$

$$\text{Para } D_e < 8 \text{ mm } K_b = 1$$

$$\text{Para } 8 < D_e < 250 \text{ mm } K_b = 1,189 d^{-0,097}$$

Empleando el diámetro equivalente en la tabla de factores de tamaño obtenemos que **K_b = 1**.

- **K_q (Factor de carga):** este factor toma distintos valores de aplicación directa según el tipo de carga. Para un esfuerzo de flexión, **K_q = 1**.

- **K_g (Factor de efectos diversos):** tiene en cuenta modificaciones por tipos de acabado o condiciones varias. En piezas mecánicas con ajuste, como los tornillos, existe un fenómeno llamado **corrosión por apriete**, que puede reducir la resistencia a la fatiga hasta un 70%. En este caso, ponemos que **K_g = 0,85**.

- **K_d (Factor de temperatura):** considera la diferencia de temperatura entre el ensayo y la temperatura de operación. Como la temperatura de uso varía en función de las condiciones climáticas en las que se encuentre el sujeto, tomamos una temperatura predominante en su actividad diaria, la de 20°C. De esta forma, **K_d = 1**.

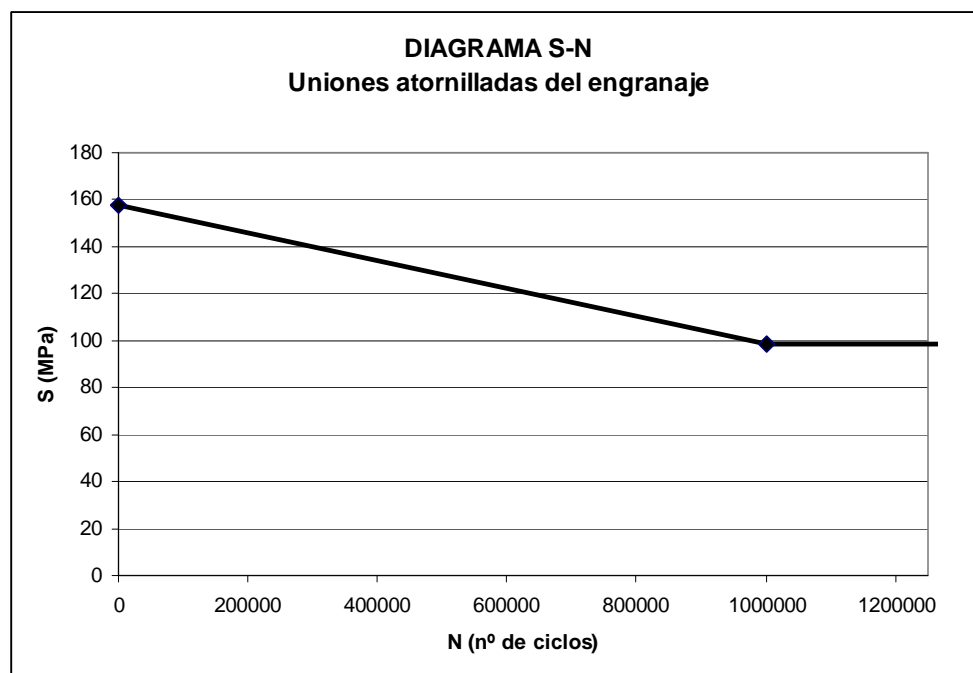
- **K_e (Factor de concentrador de tensiones):** aplicable si se considera la existencia de entalla. Despreciamos la existencia de entalla, por lo que **K_e = 1**.

-K_c (Factor de confiabilidad): este factor está asociado a la naturaleza estadística del fenómeno de fatiga, de forma que $K_c = 1 - \sigma D$ donde σ es la desviación estándar de la distribución normal del fenómeno de fatiga, y D el factor de multiplicación de la desviación relacionado con la probabilidad de vida. Para el aluminio 6063-T5 $\sigma = 25\%$, y para una probabilidad de vida del 90% $D = 1.3$ por lo que **K_c = 0.675**.

$$S_e = K_a * K_b * K_q * K_g * K_d * K_e * K_c * S_e'$$

$$S_e = 1,147 * 1 * 1 * 0,85 * 1 * 1 * 0,675 * 150 = 98,7 \text{ MPa}$$

El diagrama S-N queda tal que así:



El límite a fatiga para 10^6 ciclos es de 98,7 MPa, un valor mucho mayor que los 47,2 MPa a los que la pieza se ve sometida, por lo que resiste a un número de ciclos muy elevado. Para determinar el fallo de un componente sometido a tensiones fluctuante, comparamos el término constante de la tensión actuante, σ_m , con el límite a rotura estático, S_{ut} , y el término variable, σ_a , con el límite a fatiga, S_e , por medio del **criterio de Goodman**.

$$\frac{\sigma_m}{S_{ut}} + \frac{\sigma_a}{S_e} = \frac{1}{cs} \quad \text{Donde } cs \text{ es el factor de seguridad; } cs=2$$

$$\text{Si } \sigma_m=0 \text{ entonces } \frac{\sigma_a}{S_e} < \frac{1}{cs}$$

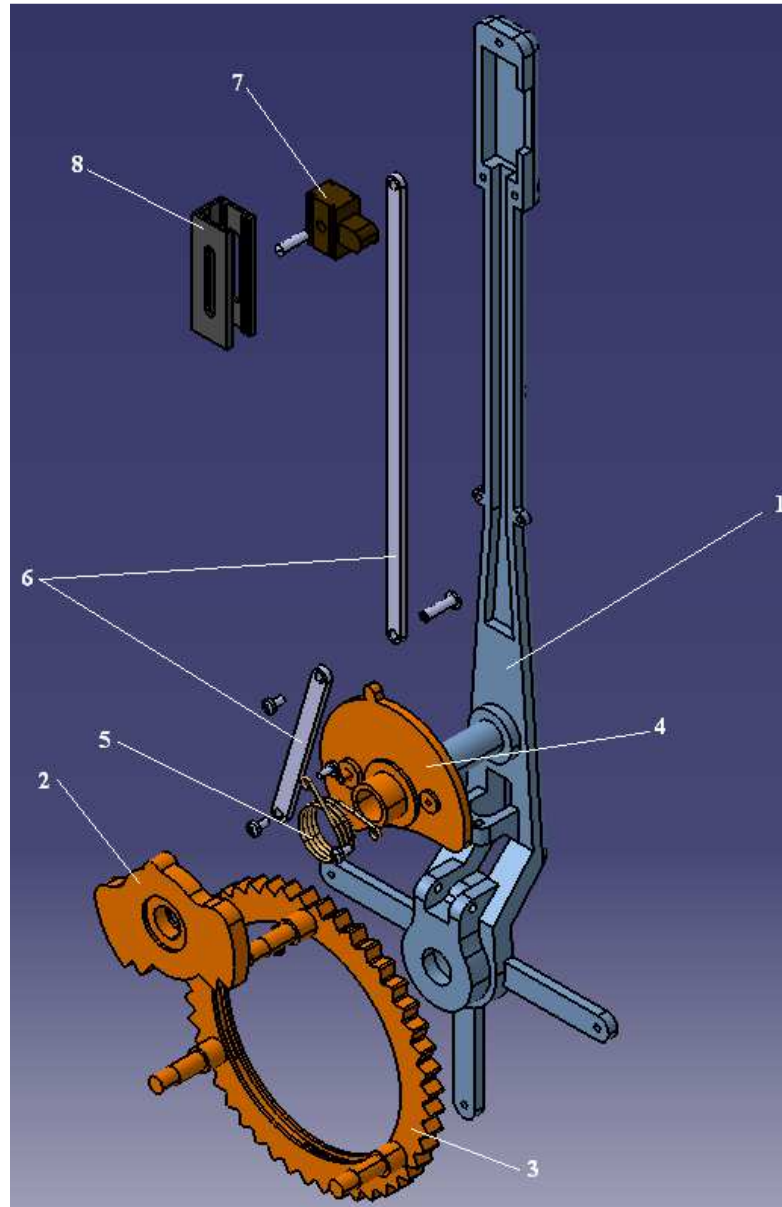
$$47,2/98,7 = 0,48 < 1/2 = 0,50$$

Según el criterio de Goodman, las uniones atornilladas resistirán bastante bien, siempre y cuando no se haga un mal uso desproporcionado de forma habitual.

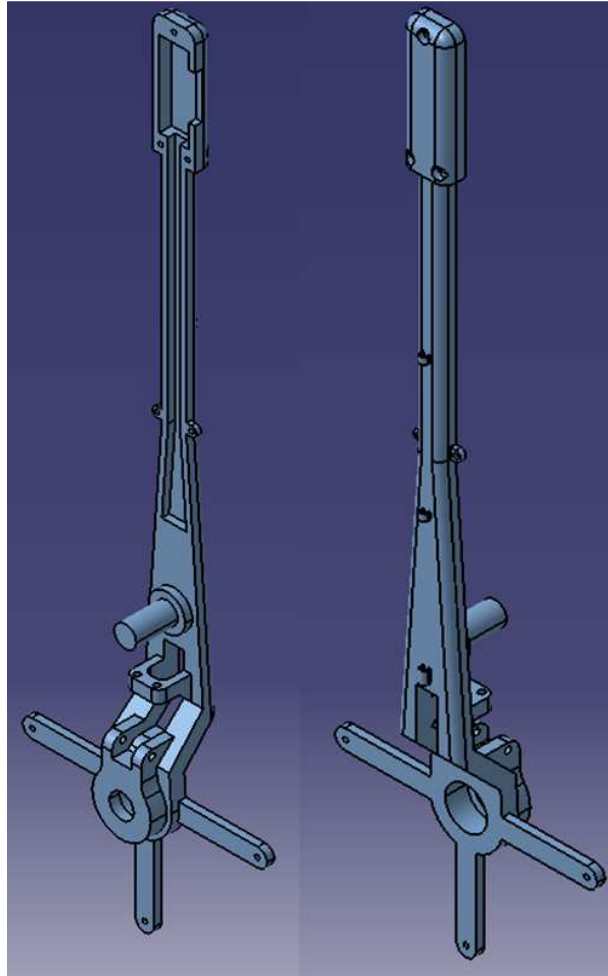
Una vez comprobada la resistencia de estos elementos, nos disponemos a explicar el funcionamiento del sistema.

7.6.2. Sistema de trinquete

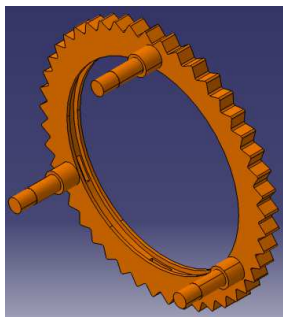
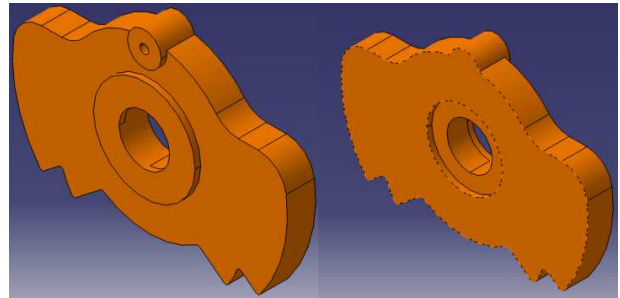
En el siguiente despiece, vemos los elementos que juegan el papel principal dentro del mecanismo que queremos añadir a la silla.



1. Base de la palanca: es el esqueleto del conjunto. Su función es cobijar todas las piezas y, a su vez, soportar la mayoría de esfuerzos. La persona que esté en la silla de ruedas agarrará el extremo superior para aplicar la fuerza. El eje de la rueda irá en el agujero ubicado en la parte inferior, mientras que el mecanismo del trinquete irá en el cilindro ubicado encima de éste. Hay otras partes de este esqueleto que iremos explicando, como la zona para alojar el freno u otra que aloja el interruptor de dirección. En los tres brazos que se observan en la parte inferior se atornilla la carcasa que cubre el sistema, otro detalle que se verá más adelante.

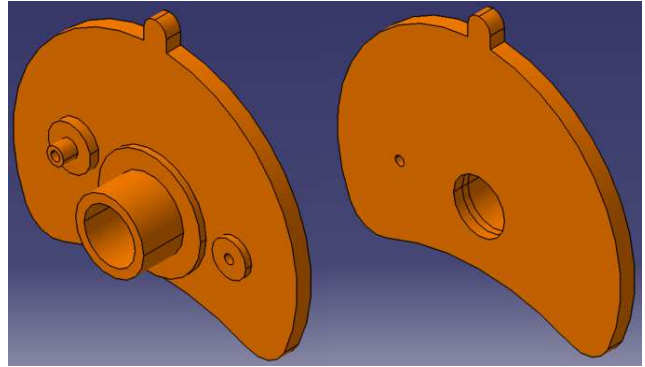


2. Trinquete: se trata de una pieza que se engancha o bloquea el engranaje en un sentido de giro, haciendo que se desplacen en la misma dirección y que permite el movimiento relativo en el otro sentido. Con un movimiento de éste, se puede configurar el sentido de giro que queremos tomar. Las superficies exteriores de sus dientes están diseñadas de forma que sean tangentes a las superficies de los dientes a bloquear del engranaje.

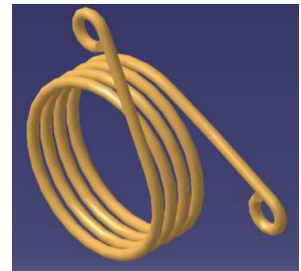


3. Engranaje: este engranaje no está diseñado para engranar con otro, simplemente queremos que quede anclado y transmita el movimiento de la palanca. Es un engranaje totalmente personalizado a su tarea, no está normalizado. No es macizo, posee un hueco en su interior para aligerar el peso de la pieza y para, principalmente, alojar una superficie de frenado que más tarde veremos. Posee tres partes atornilladas que sirven para unir el sistema a las ruedas.

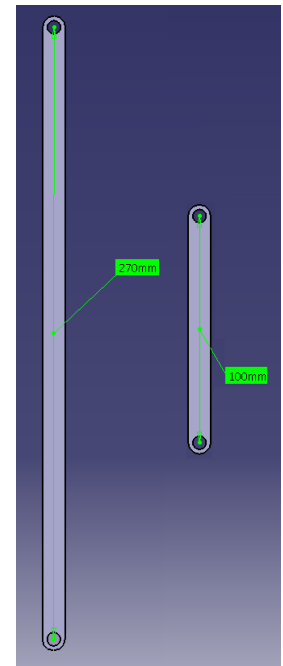
4. Plato: aloja el trinquete de forma que solo exista un movimiento relativo de giro entre ellos, el que permita el muelle. Se fija el plato en una posición u otra en función del sentido de giro que queremos y el trinquete adopta esa posición. Cuando el engranaje gire en sentido contrario al que hemos fijado, solamente el trinquete se desplazará empujado por los dientes del engranaje, pero luego adoptará la posición inicial gracias al muelle a torsión.



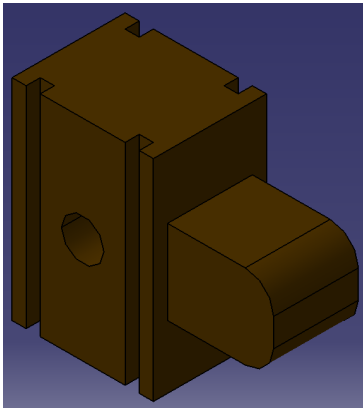
5. Muelle a torsión: se trata de un muelle personalizado cuya función es la de mantener los dientes del trinquete y los del engranaje en continuo contacto. Se genera una energía potencial elástica en el momento en el que los dientes del engranaje empujan al trinquete cuando la palanca y dicho engranaje giran en sentidos opuestos. Cuando ya puede tomar su posición inicial de bloqueo, el trinquete se desplaza gracias a la liberación de esa energía elástica.



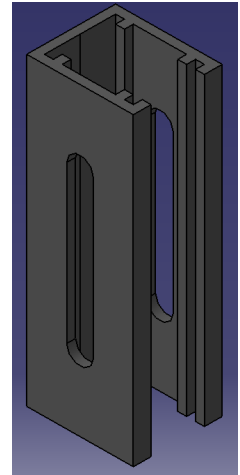
6. Articulaciones: sirven para hacer girar el plato desde la empuñadura de la palanca, fijándolo en la posición deseada. Una de estas articulaciones, de unos 27 cm de longitud, une el interruptor de sentido con la otra articulación, de unos 10 cm, la cual transfiere el movimiento al plato. De esta forma, logramos una conversión de un movimiento vertical a uno de giro.



7. Interruptor: el usuario, con un movimiento de pulgar, baja y sube el interruptor cuando desea avanzar o retroceder, respectivamente. Las ranuras que se pueden apreciar sirven para que la pieza se desplace sobre la guía. Esta pieza será fabricada de plástico o nylon y dispondrá de un hueco en su interior para insertar la articulación. Para impedir que esta articulación se separe de esta pieza, introduciremos un pasador que atravesará el agujero de ambas partes.



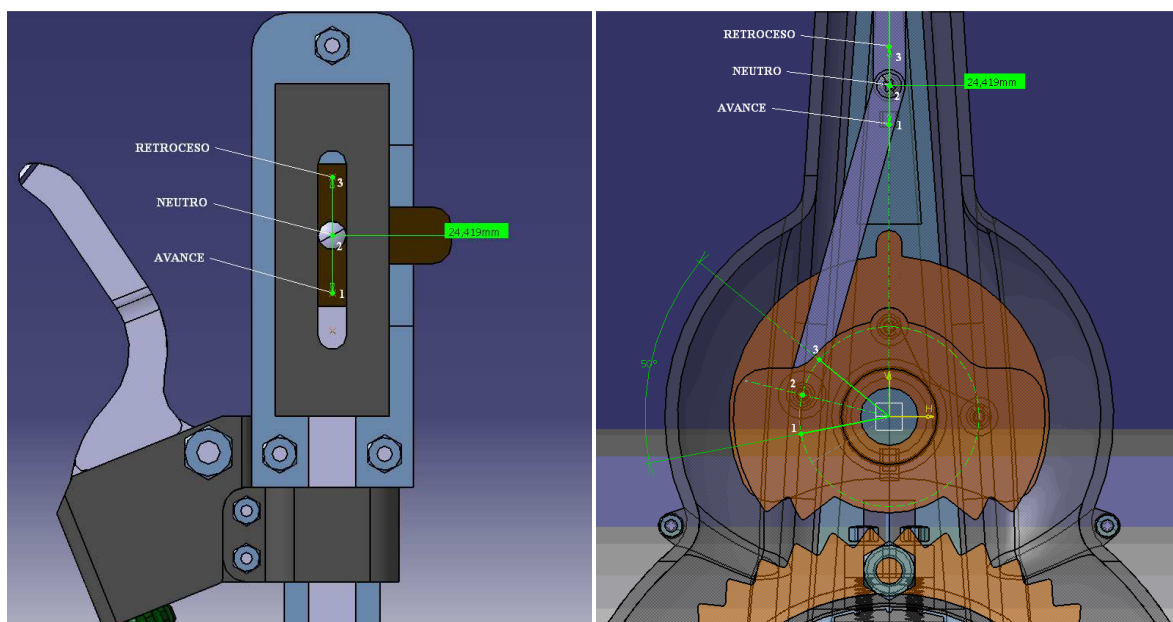
8. Guía del interruptor: favorece el desplazamiento de este y evita que tome una trayectoria no deseada. El interruptor se coloca en su interior a través de las guías, se introduce dentro de éste la articulación y se coloca el pasador. Esta pieza irá encajada en el interior de la empuñadura y también estará compuesta de nylon.



Una vez visto de que está compuesto el sistema principal, pasamos a la explicación del funcionamiento.

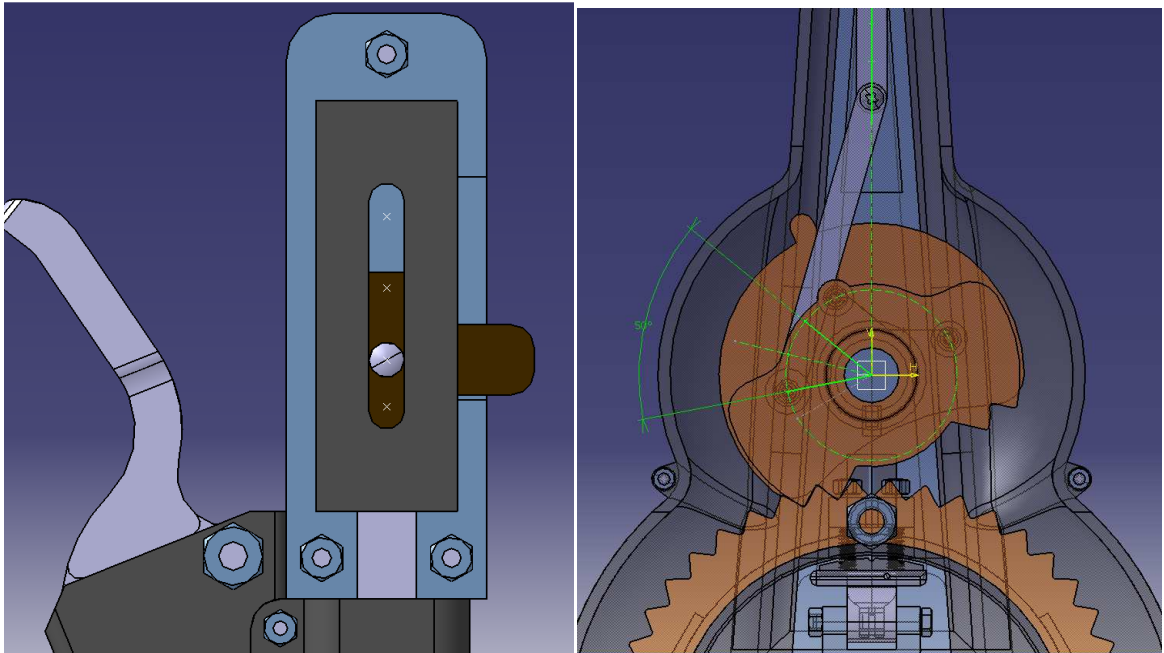
Existen tres posiciones: neutra, de avance y de retroceso.

En la **posición neutra** el interruptor está en el punto 2, equidistante a las posiciones de avance y la de retroceso, que se encuentran separadas entre sí por una distancia de 24,419 mm. En esta posición no existe bloqueo del engranaje y, por tanto, la rueda gira libremente. Dicho con otras palabras, si empujamos o tiramos de la palanca, esto no influirá en el movimiento de la rueda, puesto que el trinquete no se encuentra en contacto con el engranaje.

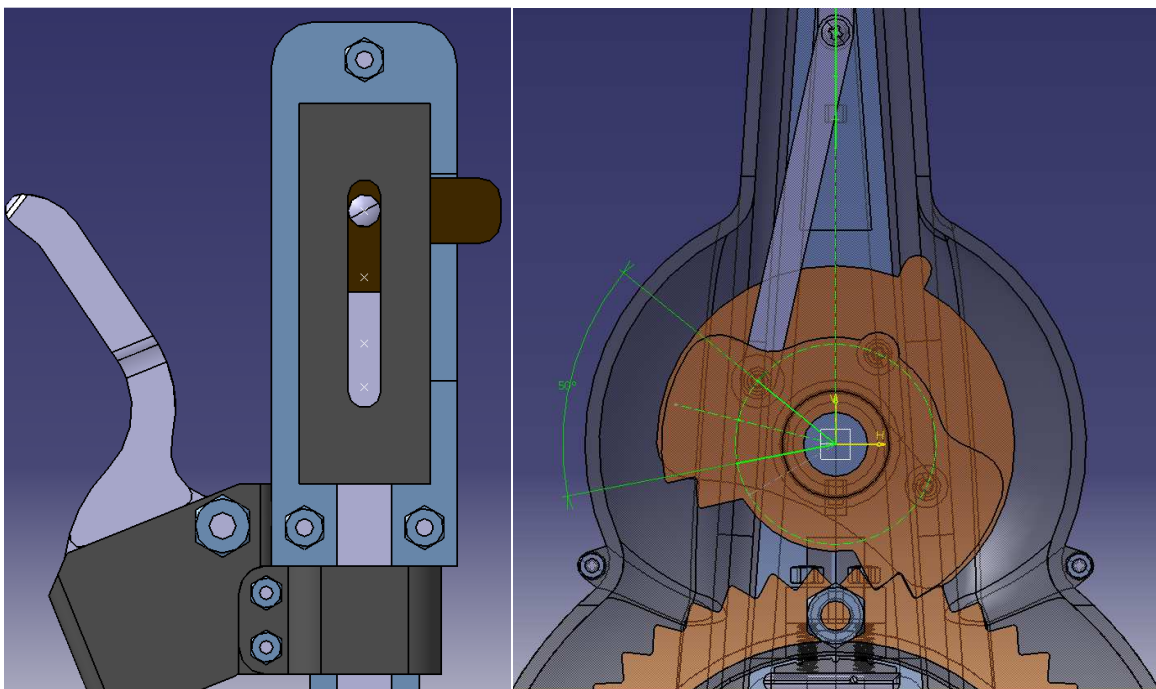


Para la **posición de avance**, se baja el interruptor hasta el punto 1. De esta forma, la primera articulación desciende también y la segunda hace girar el plato 25° (en sentido antihorario según la imagen). En esta posición, si se empuja la palanca hacia delante, los dientes del trinquete establecen contacto con los del engranaje, empujándolos en sentido antihorario. Las ruedas, al girar solidarias al engranaje, harán que la silla avance. El

usuario hará girar la palanca un número determinado de grados, impulsando la silla. Para el siguiente impulso, tirará de la palanca para volver a empujar más tarde. En ese tránsito entre impulsos, el engranaje se libera del trinquete. Al empujar de nuevo, el trinquete vuelve a bloquear el giro del engranaje, por lo que volverá a dictar el sentido a seguir.



De forma totalmente inversa a la anterior posición, en la **posición de retroceso**, el interruptor sube hasta el punto 3. Si partimos desde el neutro, se sube el interruptor unos 12 mm, haciendo girar el trinquete 25° en sentido horario. Cuando tiramos de la palanca hacia atrás, el trinquete bloqueará la rueda y la hará girar en sentido horario, por lo que la silla irá hacia atrás. Cogemos impulso empujando hacia adelante la palanca y la rueda se libera, no habiendo transmisión de giro. Al tirar de nuevo, el sistema vuelve a bloquear la rueda, transmitiendo el movimiento que aplicamos.



Existe un margen de desplazamiento en el interruptor. Es decir, que este puede posicionarse ligeramente por encima del punto 3 y ligeramente por debajo del punto 1. En consecuencia, el plato gira un poco más de 25° en ambos sentidos. Este pequeño margen garantiza el contacto entre los dientes del trinquete y del engranaje.

En la silla habrá un mecanismo de estos por rueda trasera. Si se quiere avanzar o retroceder, los dos mecanismos han de tener los dos interruptores en el punto 1 y en el 3, respectivamente. Si se desea girar a la derecha, la palanca de la izquierda deberá ser empujada mientras se encuentra en posición de avance y se deberá tirar de la de la derecha mientras está en posición de retroceso. Para girar a la izquierda, el proceso se realiza a la inversa.

Esta parte en concreto dispone de 15 elementos y su peso es de unos 1,150 kg.

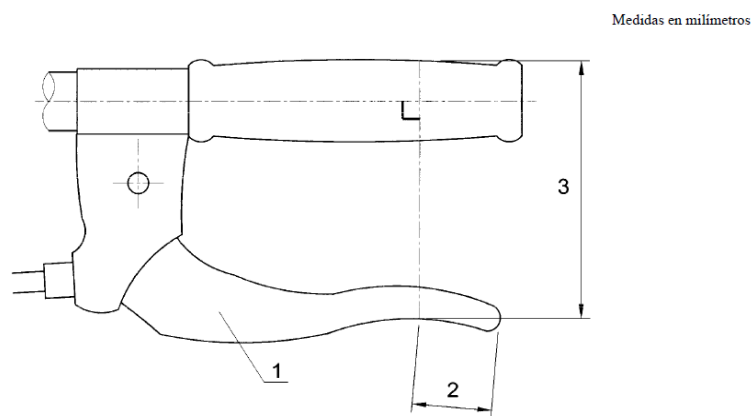
7.6.3. Sistema de freno

Con el fin de frenar o reducir la velocidad que toma la silla, hemos instalado un sistema de frenado que se puede accionar desde la empuñadura de la palanca de propulsión. Este sistema de frenado es similar al de una bicicleta. Consiste en una maneta que tira de un cable Bowden, el cual desplaza una especie de leva de placa que empuja un seguidor de cara plana, provisto de una zapata que aprieta la superficie de frenado ubicada en el engranaje del sistema anterior. Podríamos decir que el sistema se divide en dos partes vinculadas por medio del cable Bowden: la parte en la que se acciona la maneta, situada en la empuñadura, y la parte en la que la leva se mueve apretando la zapata contra la superficie de frenado

1ª Parte

Esta parte corresponde a la situada justo debajo de la empuñadura y su función es permitir el accionamiento del freno con solo un movimiento de dedos. Según la **UNE-EN 12183**:

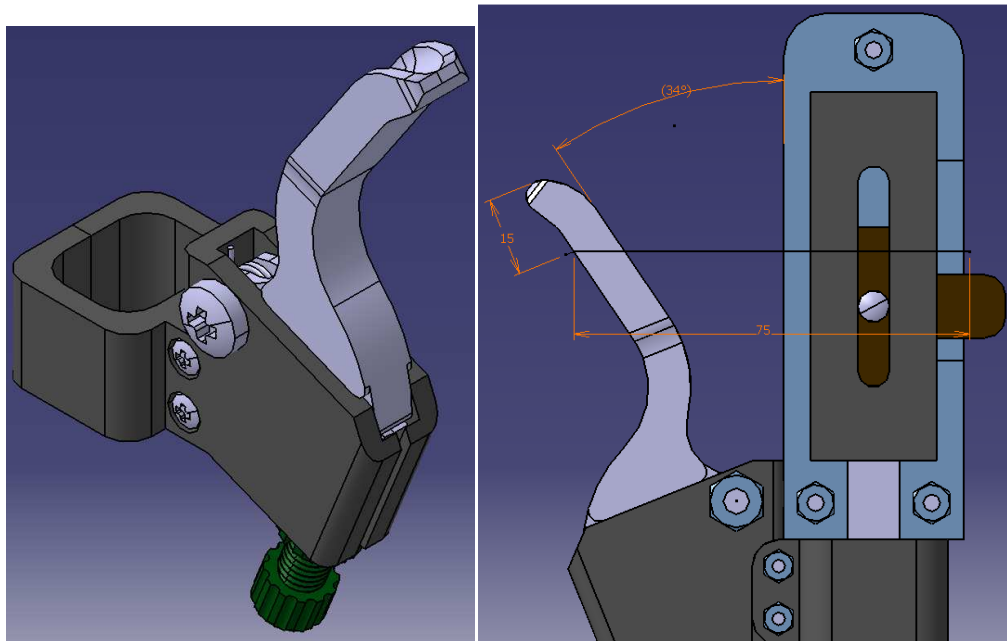
“Cuando las empuñaduras de maniobra dispongan de mandos previstos para ser utilizados sujetos con una sola mano, la anchura máxima de agarre del mando no debe exceder de 75 mm.”



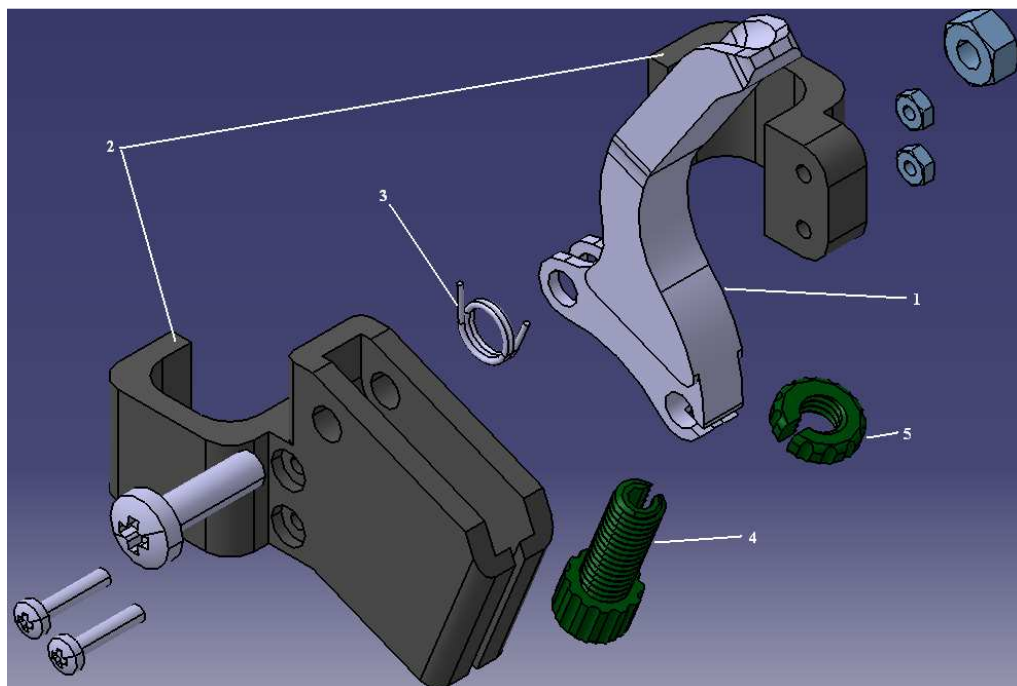
Leyenda

- 1 Palanca sujeta con el dedo de una mano
- 2 15 mm
- 3 Anchura de la empuñadura

El punto a 15 mm del extremo de la maneta es la zona donde se aplica la fuerza con los dedos y es comprensible que la distancia entre éste y la empuñadura de maniobra no deba ser mayor a los 75mm. Esta medida se toma para que se pueda manipular el mando sin forzar el estiramiento de los dedos. Acorde a la norma, hemos diseñado unos mandos que se fijan en el cuello de la empuñadura mediante un soporte que funciona de abrazadera. Nos hemos asegurado de que el punto de aplicación de la fuerza en la maneta esté a menos de 75mm de la empuñadura (ligeramente inferior, pero válido). El ángulo de acción, es decir, el ángulo que forma la maneta con la empuñadura es de 34° .



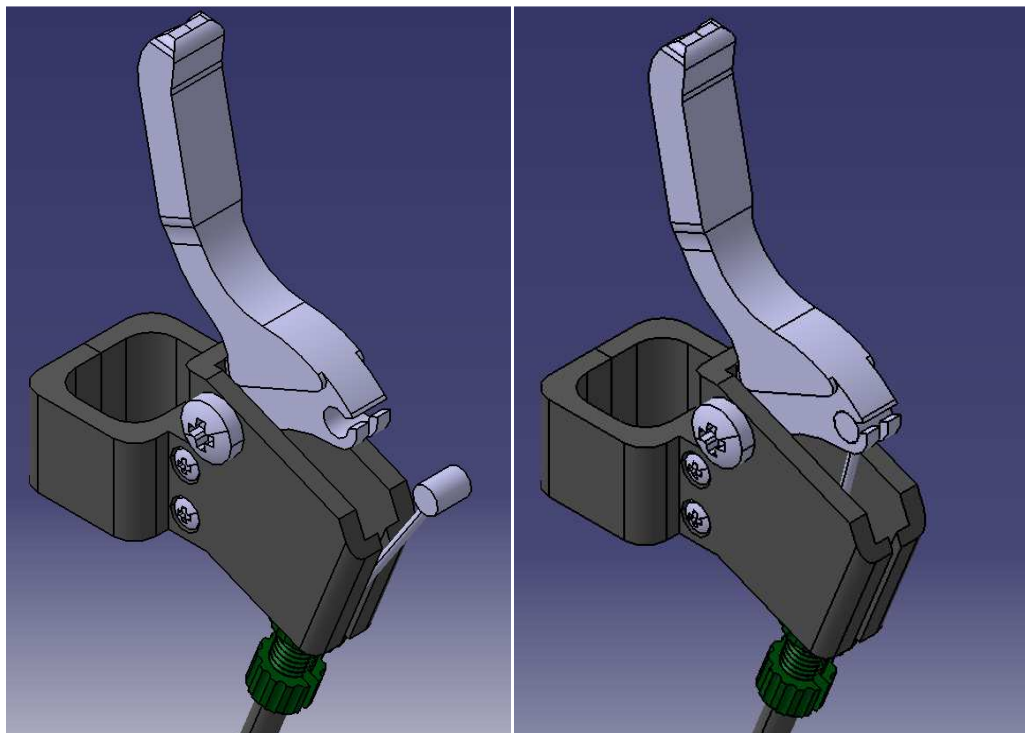
A continuación, mostramos el despiece y explicamos la función de los elementos principales.



- 1. Maneta:** es una pieza de aluminio donde se aplica la fuerza de los dedos para tirar del cable del freno. Está diseñada para poder manipularse con dos o tres dedos
- 2. Soporte:** formado por dos piezas que se atornillan entre sí para abrazar la palanca y fijar el mando. En él se insertan el resto de componentes y dispone de una ranura para que pase el extremo del cable del que se quiere tirar. Se fabricará con aluminio, para hacerlo ligero.
- 3. Muelle a torsión:** se trata de un muelle normalizado **T035-090-187** cuyos brazos han sido previamente cortados para que encajen a la perfección en el conjunto. Su ángulo inicial es de 90°, pero en el conjunto sus brazos forman un ángulo menor para garantizar que la maneta adopte una posición concreta. Su función es hacer que ésta retorne a su postura inicial cuando cese la fuerza aplicada. Está Hecho de acero.
- 4. Tensor:** es una especie de tornillo hueco que se rosca al soporte, con una tuerca que sirve para bloquearla al apretarse contra el soporte, Ambos tienen una ranura longitudinal que sirve para pasar el cable bowden a través de estos elementos. Al enroscarse disminuye la tensión en el cable, al contrario que al desenroscarse. Su cabeza está adaptada para poder operar fácilmente con los dedos. Está hecho de acero.
- 5. Retención o contra tuerca:** sirve para bloquear el roscado del tornillo tensor. También está hecho de acero.

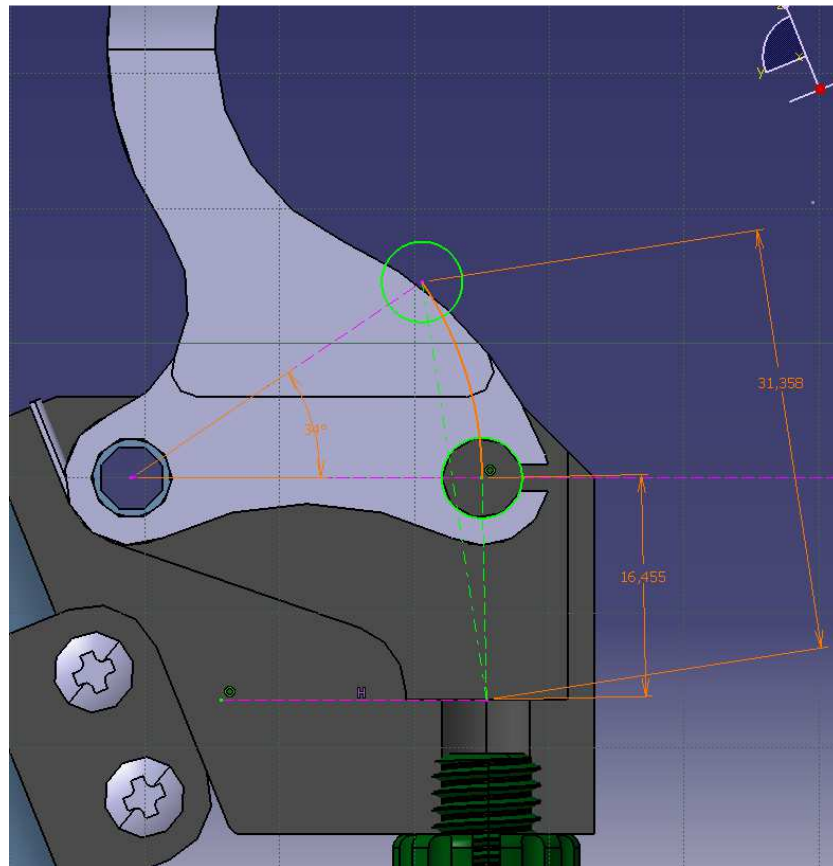
El peso de este conjunto, incluyendo tuercas y tornillos, es de unos 108 gr y el número total de piezas es de 12.

El funcionamiento es muy simple. Una vez montado el sistema, se pasa el cable por las ranuras longitudinales de los componentes y se enchancha la cabeza de éste a un extremo de la maneta. De esta forma, al presionar la maneta contra la empuñadura, tiraremos del cable.



Ahora la duda que nos aborda es: ¿cuánto tirará del cable?

Hemos plasmado en Catia las dos posiciones clave que la maneta tomará, la de reposo y la de mayor frenado, es decir, cuando la maneta esté en contacto con la empuñadura.



Ambas se llevan una diferencia aproximada de 15 mm. Ahora que sabemos la cantidad de cable de la que se tirará a través de los mandos podemos pasar a la segunda parte del sistema de frenado.

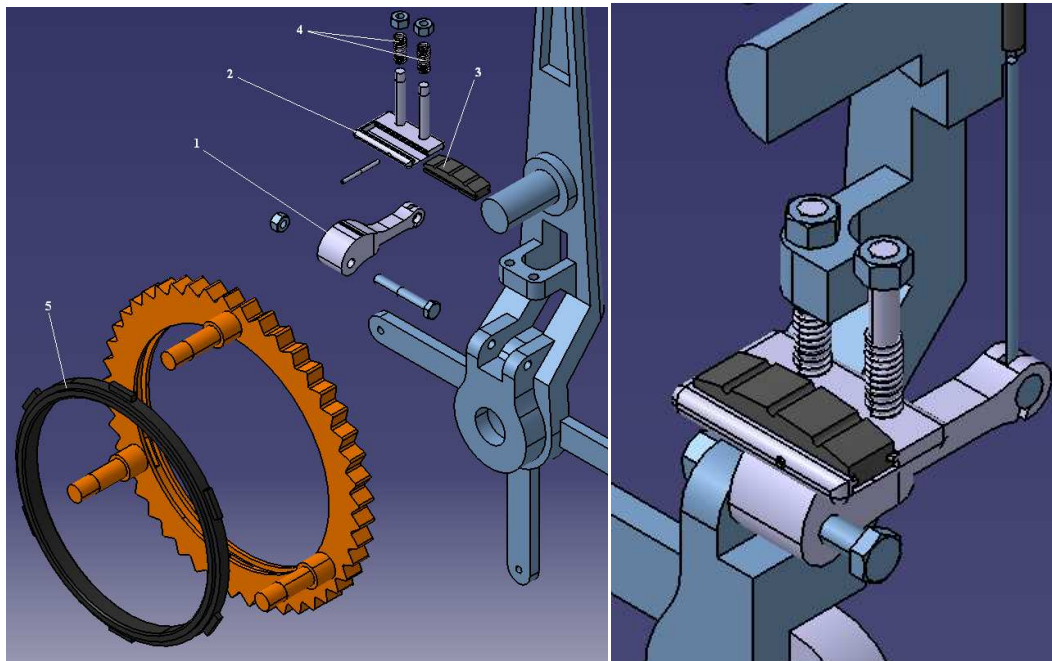


El cable conectará la primera parte con la segunda, sujeto a una especie de abrazaderas que recorren el esqueleto de la palanca. El cable está cubierto por una camisa protectora que permite el movimiento relativo en su interior, por lo que ésta quedará inmovilizada por las abrazaderas y el tensor mientras el cable se moverá por dentro según vayamos haciendo uso del freno.

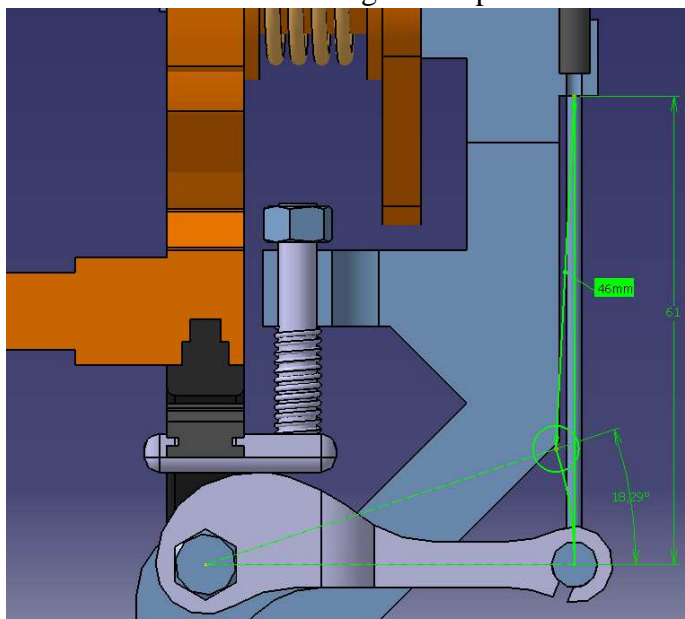
2ª Parte

Hemos desarrollado un sistema de frenado por fricción cuyo objetivo es reducir e impedir el giro del engranaje que se mueve solidario con la rueda. El funcionamiento es el siguiente. Al tirar de un extremo del cable, el otro extremo acciona una leva, de forma que la hace girar y ésta, a su vez, levanta un seguidor de cara plana. Este seguidor lleva incorporada una zapata que presiona la superficie de frenado adherida al engranaje y la fricción entre sus superficies se encarga de cumplir nuestro objetivo. Cuando se suelta la maneta, el sistema tiende a volver a su posición inicial gracias a unos muelles de compresión que posee el seguidor.

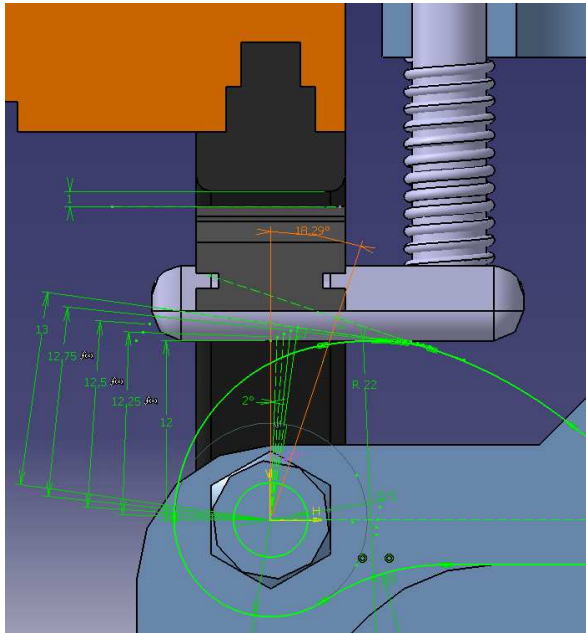
En la figura mostramos cada elemento que participa en el frenado:



1. Leva: se encarga de desplazar el seguidor gracias al acortamiento del cable. La hemos diseñado atendiendo a los siguientes parámetros.



La distancia entre el extremo del cable y la abrazadera de donde sale el cable es de 61 mm y sigue una trayectoria totalmente vertical si se observa el perfil del sistema. Si, como bien hemos dicho antes, tiramos del cable 15 mm, existe una distancia de 46 mm entre el punto de salida del cable y el extremo de la leva. Observamos entonces que la leva realiza un giro de **18,29 °** con respecto a su posición inicial.



En su posición inicial, la altura del seguidor con respecto al centro de giro es de 12 mm y la distancia entre la zapata y la superficie de frenado es de 1 mm.

Nuestro objetivo es que conforme vayamos apretando la maneta contra la empuñadura de la palanca, el frenado sea cada vez más intenso. Sin embargo, existe un intervalo en el que se produce el acercamiento de la zapata a la superficie de frenado en el que todavía no se frena el sistema. En los primeros 8° de giro de la leva, el pasador sube a un ritmo de 0,25 mm por grado de giro. A partir de esos 8°, la zapata entra en contacto con la superficie de caucho del engranaje y va presionándola cada vez más, hasta que el seguidor alcanza una altura máxima de 14,25 mm.

La forma de la leva ha sido configurada expresamente para transferir al seguidor el movimiento según estos parámetros.

El centro de giro va atornillado al cuerpo de la palanca mientras que en su brazo queda enganchada la cabeza del cable bowden.

2. Seguidor: seguidor de cara plana que sigue un movimiento rectilíneo vertical dado por la leva. La zapata se coloca en la cavidad que existe en su interior. Tiene dos cilindros roscados perpendiculares a la cara contraria a la que establece contacto con la leva. Estos, pasan por unos agujeros efectuados en el esqueleto. Su función es guiar el movimiento y alojar un par de muelles a compresión.

3. Zapata: elemento de caucho que presiona el engranaje para que se establezca la deceleración. Está fijada al seguidor mediante un pasador cilíndrico ISO 2338 M2x24.

4. Muelles a compresión: garantizan un continuo contacto del seguidor con la leva. Son muelles D11310 cuya longitud en reposo son de 20 mm y la longitud mínima que puede adoptar es de 6 mm. Cuando la leva está en su posición inicial, la longitud de éstos es de 14 mm y cuando se sube la zapata al máximo se encogerían unos 2 o 5 mm, en función de cómo tensemos el cable. De esta forma, el muelle siempre está comprimido y ejerce fuerza sobre el seguidor, respetando la longitud mínima.

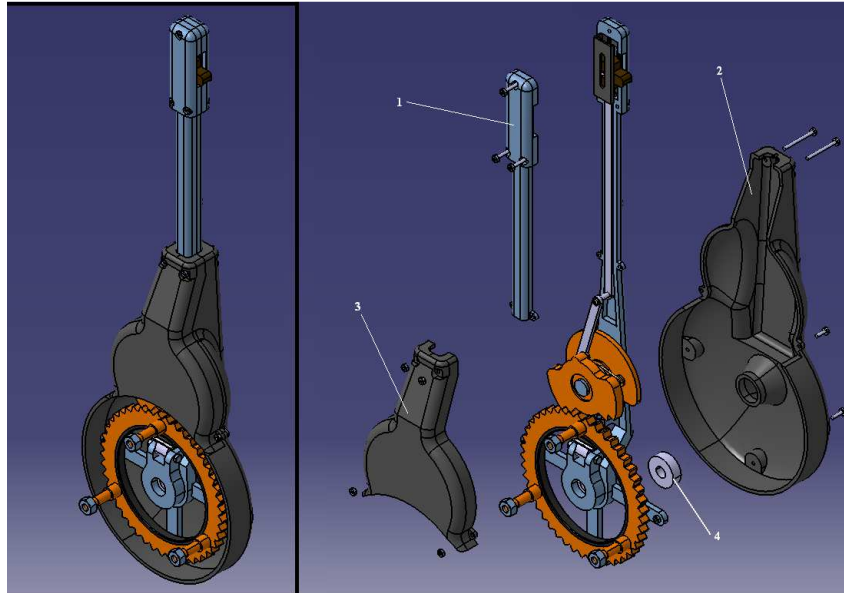
5. Superficie de frenado: se coloca en la cara interior del engranaje con el fin de aumentar el coeficiente de rozamiento con la zapata y asegurar una eficacia de frenado determinada. El material del que se fabricará será de goma e irá adherido al engranaje por medio de un adhesivo líquido de gran fijación.

Esta parte del freno consta de 11 elementos y el peso aproximado es de 70 gr. Cada uno de los dos sistemas de frenado, es decir, el conjunto de los mandos y el freno en sí, constan de 23 componentes y el total del peso es de unos 180 gr. No se ha tenido en cuenta el cable, así que serían 24 componentes. Repasando, el esqueleto, el sistema de frenado y el sistema del trinquete hacen un total de 1,33 kg y 39 piezas, que son 2,66 kg y 78 piezas que se suman a la silla si se tiene en cuenta que es una palanca por rueda.

7.6.4. Elementos de protección y otros

Para completar el mecanismo, dado que ya hemos cumplido con el diseño de sus funciones más importantes, vamos a proceder al diseño de otros elementos. El mecanismo deberá ir sujeto a la silla, además de ser seguro, fiel y, si es posible, tener cierto atractivo visual.

Para ello, hemos añadido los siguientes elementos:



1. Cubierta del esqueleto: completa la forma de la empuñadura, además de cubrir los elementos internos por completo y sostenerlos para que no queden sueltos. Este elemento está fabricado de la misma aleación de aluminio y se atornilla al esqueleto.

2. Carcasa exterior: cubre el mecanismo para que no se dañe ni se atasque con elementos que puedan saltar del suelo, como piedras, papeles, barro, bolsas de plástico. Así también nos aseguramos que el usuario no se lesiona al mantener un contacto accidental con el mecanismo. Otra de las funciones de la carcasa es darle al producto cierto atractivo, no sólo por ocultar el mecanismo sino por poseer una forma agradable a la vista y al tacto, con curvas suaves que le dan un aspecto moderno en vez de esquinas o acabados en punta que pueden causar daños al chocar accidentalmente. Se atornilla junto con la carcasa interior a la base de la palanca. El material de que estará hecho será nylon.

3. Carcasa interior: posee las mismas características que la carcasa exterior. Otra de las funciones que posee es servir como tope al trinquete y evitar que salga de su eje.

4. Rodamientos: su objetivo es facilitar el giro del sistema. Se insertarán en la palanca base, y por ellos pasarán los ejes que irán a la rueda. El código de estos rodamientos es 6201-C-2Z.

El engranaje se fija a las ruedas por medio de los tres cilindros roscados que tiene y se atornillan a ella sujetándose por medio de tres tuercas. Estos elementos y sus correspondientes tornillos y tuercas suman un total de 27 piezas y 697 gr. Añadiendo el conjunto a la palanca y multiplicando las piezas por dos, tenemos que **las palancas suponen una adición de 132 piezas y alrededor de 4 kg al producto.**

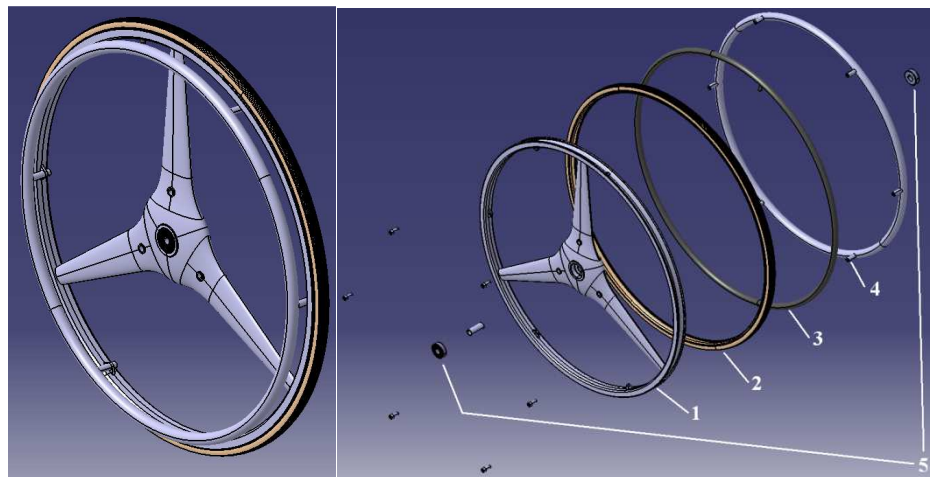
7.7. Ruedas

Una silla de ruedas precisa de cuatro ruedas, dos traseras motrices a las que se les transfiere la fuerza y mueven así la silla y otras dos directrices para permitir el cambio de dirección. Por lo general en las sillas de ruedas, estas dos últimas suelen ser casters. A continuación, se muestra el diseño de ambos tipos de ruedas.

7.7.1. Ruedas traseras

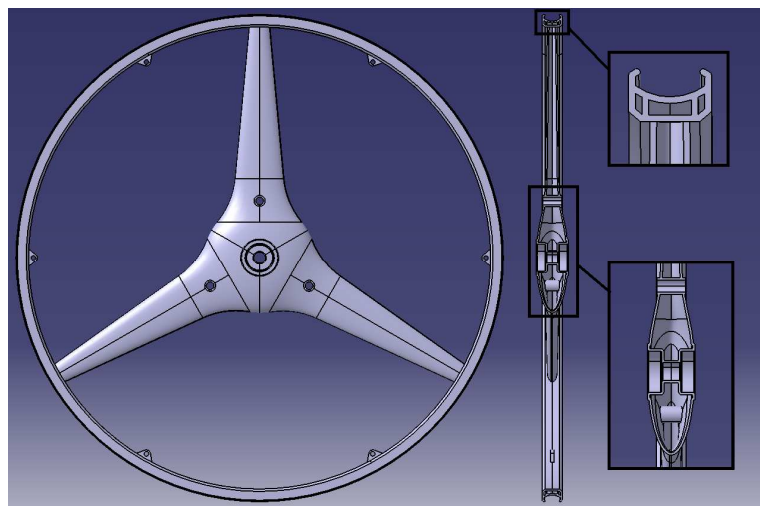
Hemos especificado, desde un principio, el tamaño de éstas acorde a las dimensiones que queríamos para la silla. Se han elaborado unas ruedas traseras de 25 pulgadas capaces de alojar el mecanismo de propulsión mencionado antes, que se pueden extraer de la silla de forma sencilla, que respetan los límites dimensionales y que van estéticamente unidas al resto del producto.

El resultado ha sido el siguiente:

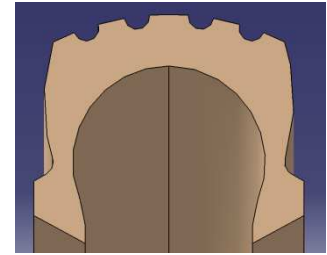


Los elementos que la componen son los siguientes:

1. Llanta: la llanta de la rueda trasera se ha elaborado siguiendo la estética de otras llantas de sillas de ruedas. Una diferencia evidente con respecto al resto de llantas es la elaboración de tres orificios especiales en los que se fija el engranaje de la palanca de propulsión. Se ha elaborado hueca y de aluminio para que resultara ligera.



2. Neumático: se trata de una pieza toroidal de caucho cuya función es permitir un contacto adecuado por adherencia y fricción con el pavimento. Los dibujos grabados en la superficie del neumático no son definitivos.

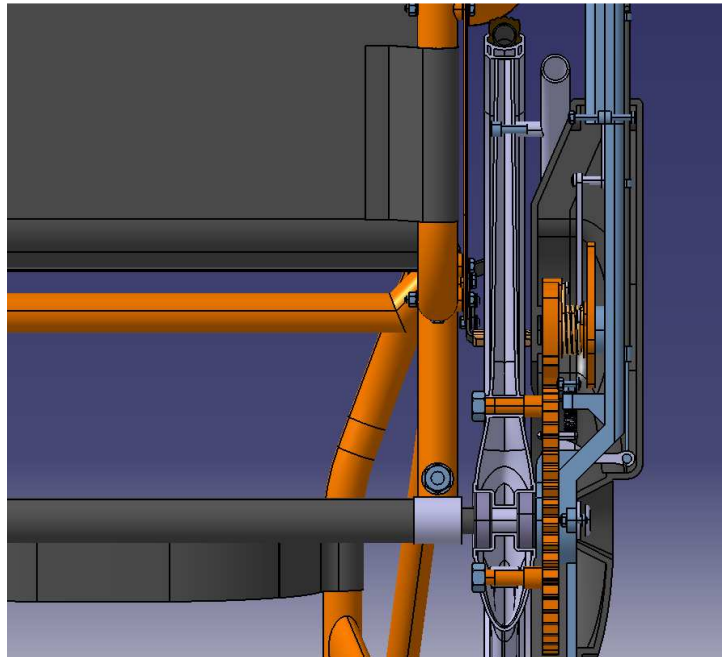


3. Cámara de aire: almacena aire en el interior de la rueda para la perfecta rodadura y amortiguación de ésta. Posee una válvula de inflado que asoma por un orificio de la llanta.

4. Aro de propulsión: se atornilla a la llanta con el propósito de que la persona montada en la silla pueda impulsarla a través de él.

5. Rodamientos: se encajan en el buje de la llanta y por ellos pasan los ejes que sujetan las ruedas al chasis. Su denominación es 6202 ZZ y se colocan uno por cara de la llanta.

En la siguiente figura mostramos una sección de la rueda con el fin de cerciorarnos de que se adapta correctamente al conjunto.

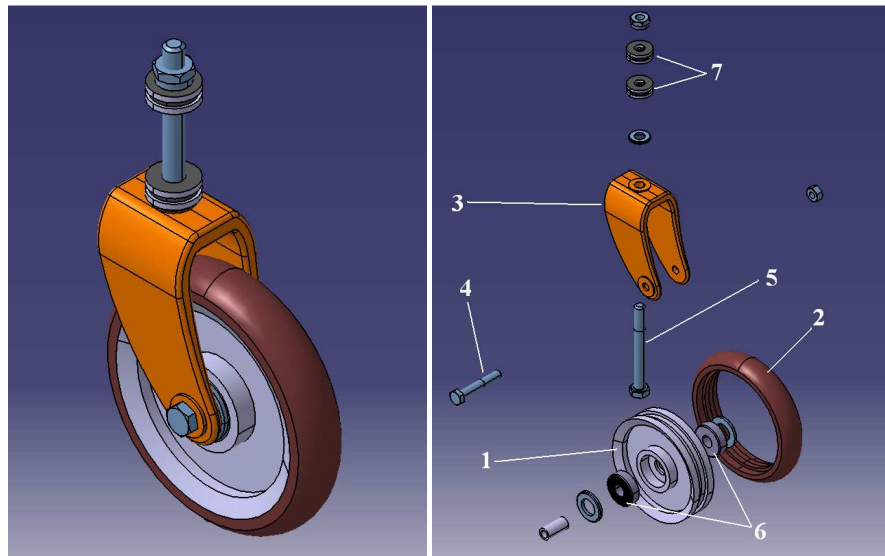


Los cilindros roscados del engranaje que funcionan a modo de tornillos pasan por las ranuras de las llantas y se les asigna una tuerca que fija los dos elementos.

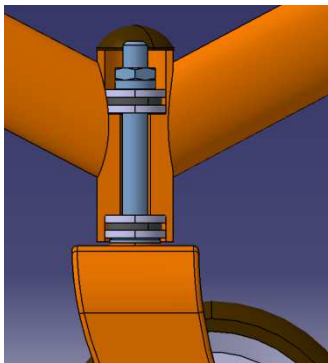
No existe contacto entre la llanta y la carcasa de la palanca y tampoco lo hay con el aro de propulsión, por lo que ninguno de estos dos elementos interfiere en la trayectoria del otro ni se produce choque alguno.

7.7.2. Ruedas delanteras

El diseño elaborado no ofrece ninguna novedad con respecto al resto de casters que existen en el mercado, por lo que explicaremos de forma breve los elementos principales.



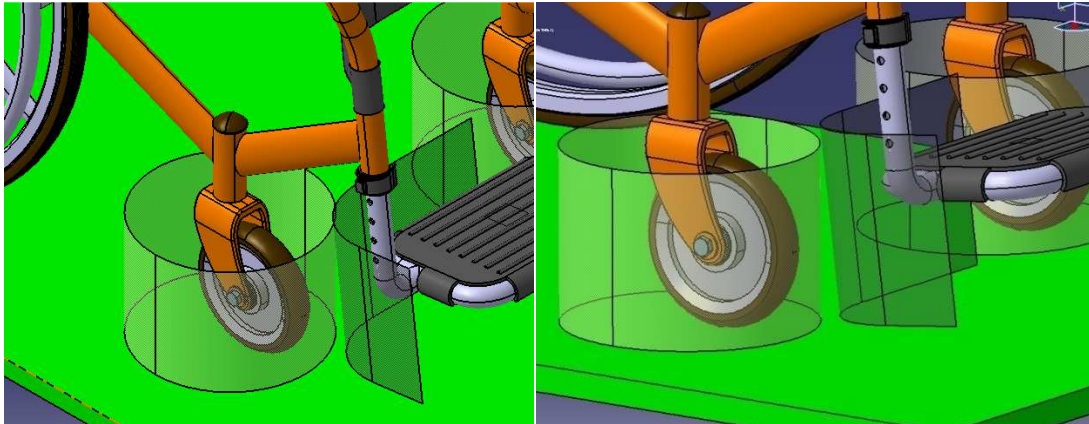
- 1. Llanta:** fabricada como una pieza maciza de aluminio.
- 2. Neumático:** fabricado de goma, se coloca cubriendo la llanta para aumentar la adherencia al suelo.
- 3. Sillón o bifurcación delantera:** también conocido como tenedor, horquilla o rastrillo. Sostiene la rueda y es capaz de girar en torno a un eje vertical para el cambio de dirección. Se trata de una pieza fabricada en aluminio.
- 4. Eje horizontal:** se trata de un tornillo de cabeza hexagonal **ISO 4014 M8x50** que permite el giro de la rueda.
- 5. Eje vertical:** en este caso, un tornillo **ISO 4014 M10x90** une el chasis con el sillón del caster. Permite el giro del sillón alrededor del **eje vertical z** para que se produzca el giro de la silla.
- 6. Rodamientos radiales:** rodamientos **6201 ZZ** que proporcionan un giro fluido de las ruedas.
- 7. Rodamientos axiales:** rodamientos **511 D10** cuya misión es facilitar el giro de la horquilla. Como se colocan dentro del chasis para el giro en el eje vertical, han de resistir esfuerzos axiales.



Aquí podemos apreciar cómo se colocan en el chasis los rodamientos axiales y el tornillo que funciona como eje vertical. Como la tuerca y la horquilla presionan las caras de los rodamientos, se reduce en gran medida la resistencia al giro. De no ser así, el giro sería muy costoso debido al apriete entre elementos.

Una vez instaladas las ruedas delanteras en la silla, creamos en Catia unas superficies que representan el giro de las ruedas, mostradas en amarillo en la figura. Elaboramos otra superficie a unos 4 cm del reposapiés a modo de perímetro de seguridad (superficie negra).

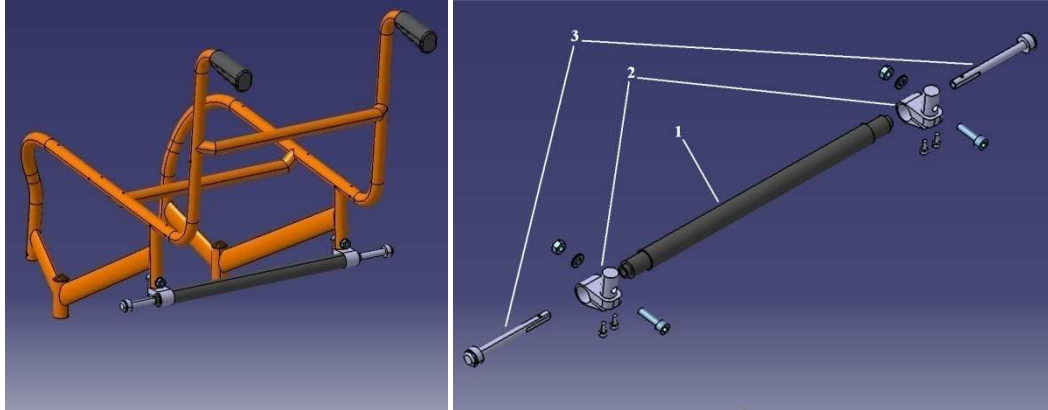
El fin de este simulacro es comprobar si la rueda delantera choca con el reposapiés o con los pies del usuario de la silla. Vemos en las imágenes que el giro de la rueda no se adentra en el perímetro de seguridad. **En conclusión, el riesgo de que se produzca un choque entre la rueda y el pie es mínimo.**



Cada rueda trasera consta de 13 elementos y pesa 1,98 kg, mientras que cada una de las ruedas delanteras está formada por 15 elementos y pesa 0,941 kg. **De esta forma, las ruedas hacen un total de 5,842 kg y 56 piezas.**

7.8. Eje

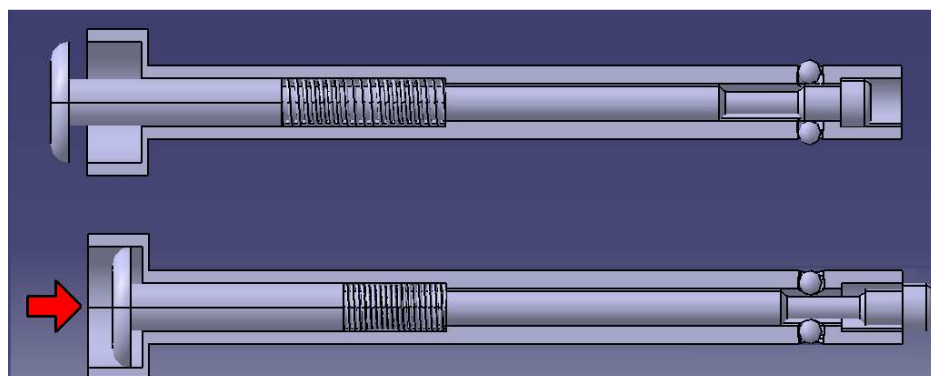
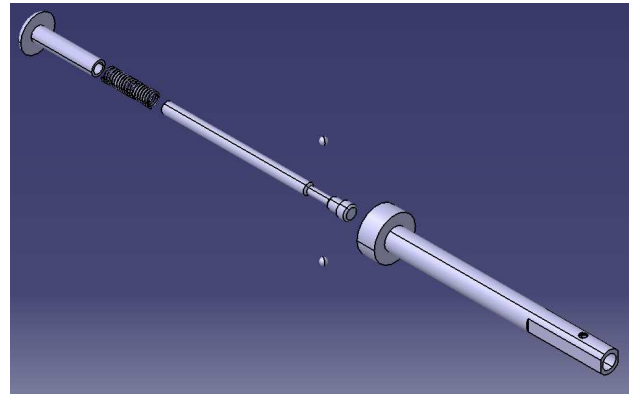
Para que las ruedas vayan sujetas al chasis, hemos añadido una barra que se fija a éste por medio de unas abrazaderas, que posee unos orificios característicos en su interior para la inserción del eje. Pasamos a explicar los elementos principales que lo componen.



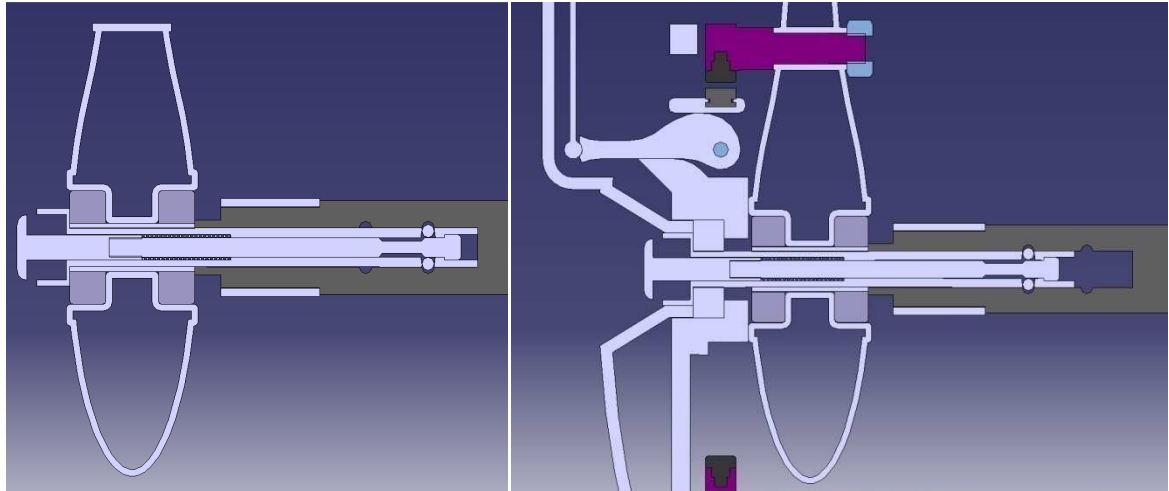
1. Barra de sujeción: es una barra de aluminio cuya principal misión es alojar en su interior el eje de la rueda. No obstante, también ejerce de refuerzo estructural para el chasis.

2. Abrazaderas: atornilladas al chasis, sostienen la barra de sujeción. Están fabricadas de acero.

3. Eje de fácil extracción: basado en otros ejes que se comercializan en el mercado, su tarea es servir como eje para las ruedas traseras, pudiéndose colocar y extraer sin necesidad de herramientas, simplemente pulsando un botón. El mecanismo posee unas bolas que impiden la extracción del eje una vez colocado dentro de la barra de sujeción. Cuando pulsamos el botón, esas bolas se alojan dentro del eje para permitir la extracción, mientras que un pistón sobresale empujando el eje hacia afuera. Cuando soltamos el botón, el muelle coloca el mecanismo en su posición de bloqueo inicial.



Con este sistema podemos fijar la rueda sola al chasis, así como la rueda y la palanca. En estas imágenes vemos la posición del eje dentro de la barra de sujeción en el caso de que se use la silla de la manera tradicional, es decir, con los aros de propulsión solamente (imagen de la izquierda) y en el caso de que añadamos a la silla las palancas con el mecanismo de trinquete (imagen de la derecha).

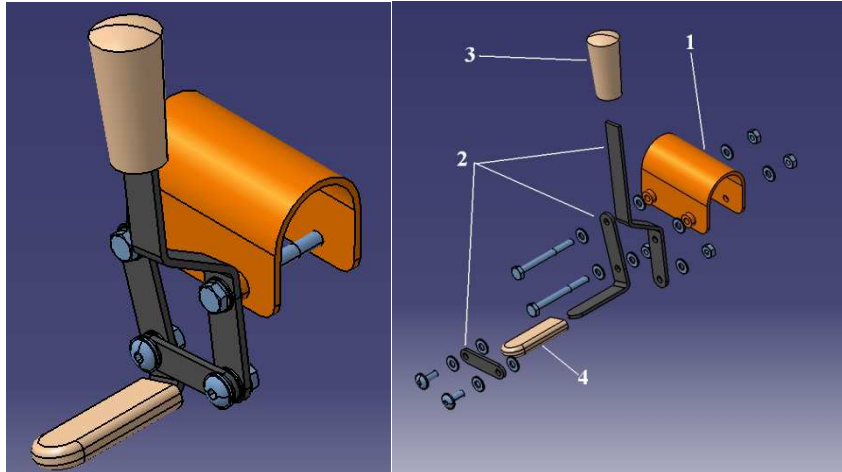


El eje consta de 37 elementos y posee una masa total, según los datos aportados por el programa Catia, de 1,275 kg.

7.9. Sistema de bloqueo

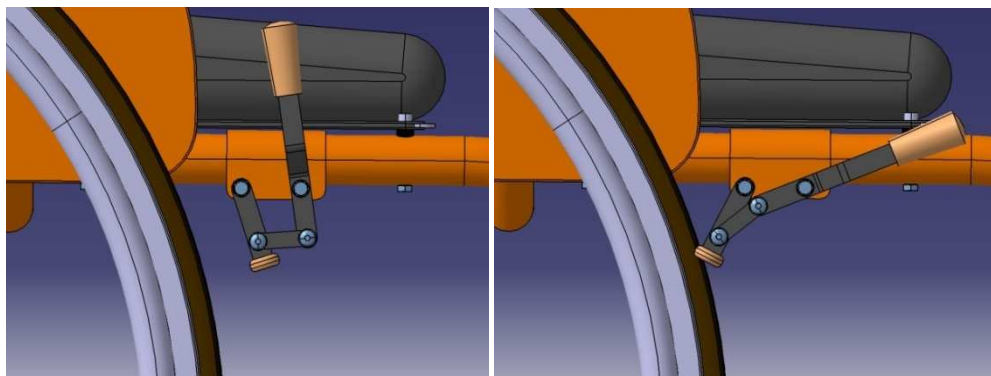
Para estacionar la silla e impedir que se mueva de su posición, recurrimos al freno o sistema de bloqueo convencional. Su función es bloquear el giro de las ruedas sin que el usuario tenga que sujetarlas o activar los mandos de freno de la palanca. Resulta muy útil cuando la silla se encuentra situada en una pendiente o en un medio de transporte en movimiento.

En la siguiente figura observamos nuestro diseño.



- 1. Abrazadera:** es el medio de sujeción al chasis del freno.
- 2. Eslabones:** transforman la fuerza de empuje sobre la manija de entrada en una fuerza normal del cojinete de freno sobre la rueda.
- 3. Empuñadura:** elemento de plástico que cubre la articulación que acciona el usuario con el fin de que sea más asible.
- 4. Cojinete de freno:** elemento de caucho que cubre la articulación en contacto con la rueda para aumentar el coeficiente de fricción y mejorar el frenado.

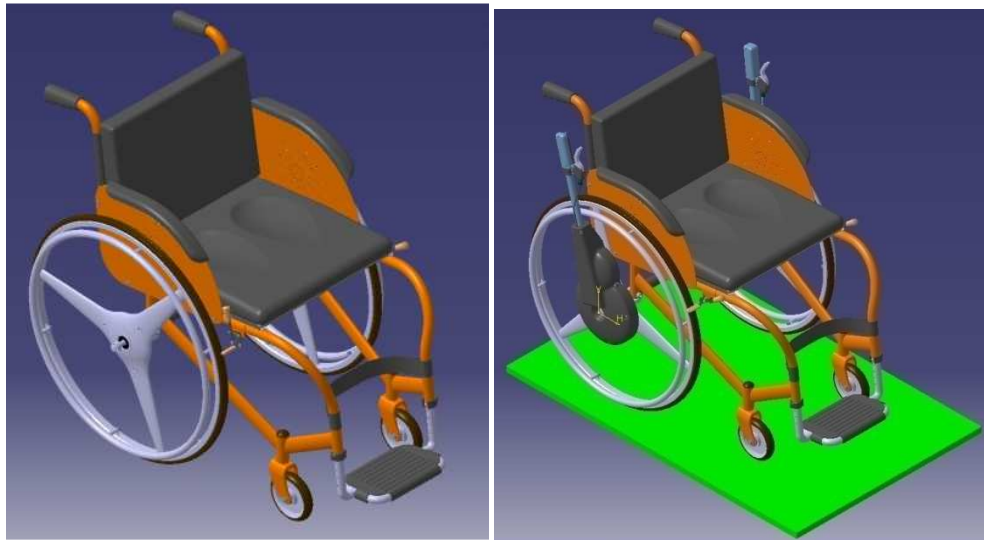
Cuando la palanca del freno se empuja hacia delante, la zapata establece contacto con la rueda y se va hundiendo en el neumático de ésta hasta que deja de girar. El mecanismo puede empujarse hasta una posición acodada para que actúe como freno fijo. Es decir, si la rueda tiende a girar y empuja la zapata hacia delante, ésta no podrá desplazarse debido a la posición tomada por las articulaciones.



Habrà un freno de 0,128 kg compuesto por 26 piezas por rueda trasera.

7.10. Producto final

El resultado de todo el diseño en detalle es el siguiente.

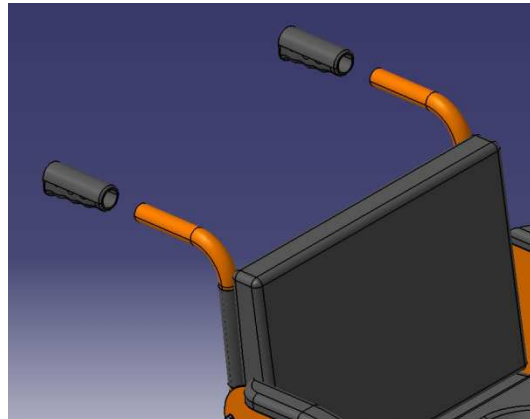


En la imagen de arriba a la izquierda vemos la silla de ruedas ya montada. No lleva el mecanismo de impulsión incorporado, por lo que se maneja a través de los aros de propulsión. En estas condiciones, la silla puede desplazarse fácilmente por interiores y lugares estrechos. El otro modo de empleo de la silla se muestra en la imagen de arriba a la derecha. Se han añadido las palancas de propulsión a los laterales para un mayor aprovechamiento de la energía. Cierto es que aumenta el volumen de la silla y dificulta ligeramente la accesibilidad en interior, pero en exteriores disminuye considerablemente el esfuerzo del usuario.

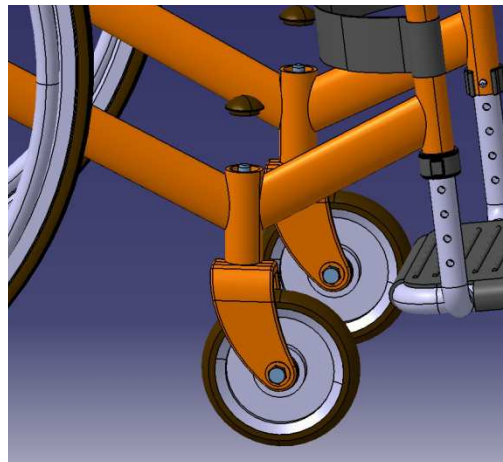


Este otro modo de empleo está concebido para largos paseos, reduciendo el cansancio y el malestar. La seguridad y la higiene incrementan debido a que se alejan las manos de las ruedas, previniendo de lesiones y de la suciedad del suelo que queda en éstas.

Hemos añadido unas empuñaduras de goma en la parte trasera del respaldo para que una segunda persona pueda agarrar cómodamente la silla para poder impulsarla.



Para ocultar los tornillos que fijan el caster al chasis, colocamos unos tapones de plástico. Así protegemos los ejes verticales de las ruedas delanteras de cualquier residuo y los ocultamos para que la silla gane en atractivo.



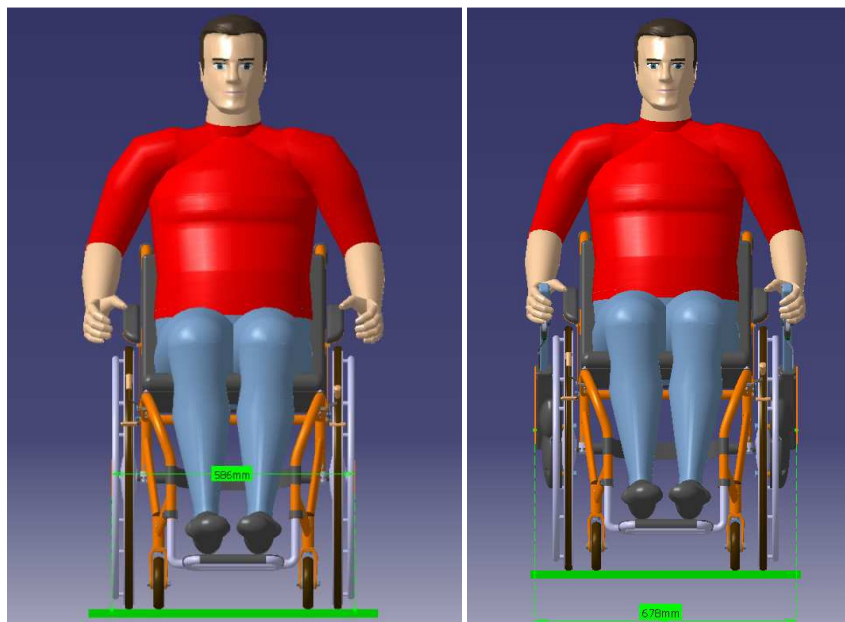
Hacemos un recuento final del número de componentes de la silla teniendo en cuenta estos últimos añadidos. Despreciamos su masa debido a que es mínima en comparación al resto de componentes.

Componente	Nº de piezas	Peso (kg)	Unidades
Chasis	1	2,3	1
Reposabrazos	14	0,820	2
Reposapiés	6	0,560	1
Asiento	31	0,927	1
Palanca de propulsión	66	2,027	2
Rueda trasera	13	1,98	2
Rueda delantera	15	0,941	2
Eje	37	1,275	1
Freno	26	0,128	2
Total (sin palancas)	81	12,8	
Total	213	16,854	

Resulta que el peso aumenta en 4 kg cuando añadimos el sistema alternativo de propulsión, no obstante, esa adición de peso influye poco si se compara con el aumento del rendimiento de la silla con este mecanismo.

Otro factor a tener en cuenta es la anchura de la silla. Hasta ahora, no hemos podido conocerla con exactitud. Ahora que sabemos la dimensión de todos sus componentes, podemos comprobar si cumple con la norma.

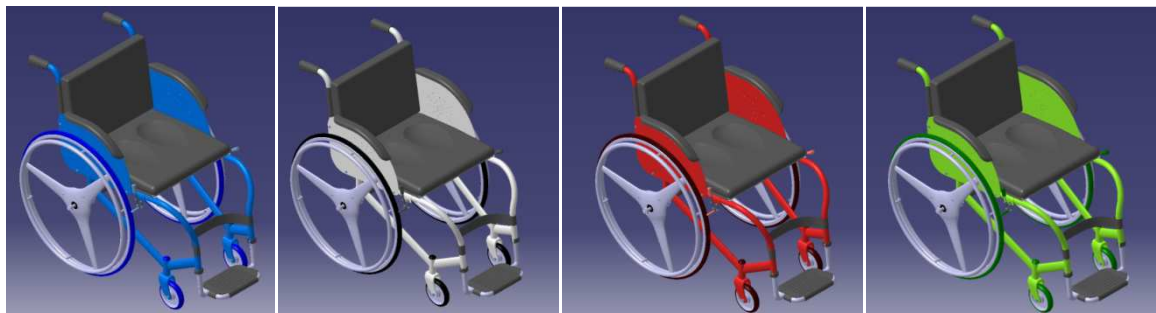
Según la **UNE 111915:1991** la anchura ha de ser inferior a los 700 mm.



La anchura de la silla convencional, es decir, la distancia entre aros de propulsión, es de 586 mm. Cumple con creces la norma. En estas condiciones, la silla puede desenvolverse con soltura en los espacios reducidos.

La anchura de la silla con los palancas incorporadas es de 678 mm. Cumple la norma, sin embargo, se verá más limitada en cuanto a accesibilidad que sin las palancas. Por ello, es preferible su uso en exteriores.

Debido a que la estética de la silla es un factor a tener muy en cuenta a la hora de llamar la atención del consumidor, fabricaremos el mismo modelo de silla con una variada gama de colores, aparte el color naranja que hemos podido observar en las anteriores imágenes. Ya que el producto va destinado a un público joven, los colores seleccionados son colores vivos.





CAPÍTULO 8: ANÁLISIS ECONÓMICO

CAPÍTULO 8: ANÁLISIS ECONÓMICO

Un aspecto fundamental de todo producto diseñado es el económico. El lanzamiento de un bien al mercado debe realizarse bajo las expectativas de recuperar el dinero invertido y obtener un beneficio satisfactorio para la empresa. Para estimar los resultados que cabe esperar de la comercialización del diseño, se lleva a cabo una fase de evaluación económica. En el caso de tener varias alternativas para el diseño de un mismo producto, el análisis económico puede ayudar a elegir la más beneficiosa para la empresa, mediante la aplicación de técnicas de decisión. Estas consideran la incertidumbre debida a la impredecibilidad del mercado. Independientemente del momento del proceso de producción en que se aplique, el análisis económico nos indicará la viabilidad de desarrollo y fabricación del producto.

8.1. Costes

El precio que paga el consumidor por un producto, debe cubrir los costes del mismo, el margen de beneficios del fabricante, el margen del intermediario y los impuestos. Para deducir los costes de un producto hay que tener en cuenta que estos se dividen en dos grupos principales: los costes fijos y los costes variables.

Los costes fijos comprenden la mano de obra indirecta (mano de obra que no depende del volumen de fabricación), los gastos generales (administración, alquileres, seguros...) y los costes de amortización de la maquinaria, instalaciones y obra civil. Estos últimos, aunque se consideran fijos ya que no dependen del número de elementos fabricados, tienen una repercusión variable en el precio por unidad que sí depende del volumen de fabricación desarrollado.

Por otra parte, los costes variables comprenden otros tres aspectos de la fabricación. Las materias primas (en las que hay que tener en cuenta tanto las aprovechadas como los desperdicios), los productos semielaborados incluidos en el bien diseñado (dependen del precio de venta fijado por el proveedor), y la mano de obra directa (interviene directamente en la fabricación, y es proporcional al volumen de producción). Teniendo en cuenta cada uno de los puntos de los costes fijos y variables se establecen los costes unitarios del producto.

Una de las técnicas más empleadas para el cálculo de costes es la estimación mediante el uso de ratios. Estos representan una relación entre dos parámetros (por ejemplo inversión necesaria en función del volumen de producción). Si la relación es constante o parecida a una constante, y se conoce su valor, puede obtenerse el valor estimado de uno de los parámetros si se conoce el otro. En este caso se van a emplear los ratios propuestos en **“Cost Engineering Análisis” de W. R. Park**, adaptados al entorno español. El carácter de estos ratios es general y orientativo, siendo por tanto el resultado obtenido una referencia y no un dato exacto. Los ratios quedan recogidos en dos tablas:

GRUPO INDUSTRIAL	Vida media Vm(años)	Capital total/Ventas anuales $a = CT / VA$	Porcentaje de ventas anuales (tanto por uno)			
			Mano de Obra Indirecta $b=MOI / VA$	Mano de Obra Directa $c=MOD / VA$	Materiales Directos $d=M/VA$	Resto
Productos alimenticios	13	0.50	0.05	0.08	0.65	0.22
Tabaco	16	0.71	0.02	0.07	0.55	0.36
Industria Textil	16	1.06	0.05	0.20	0.56	0.19
Confección	10	1.64	0.07	0.23	0.48	0.22
Madera y derivados	12	1.01	0.05	0.21	0.52	0.22
Mueble	12	0.65	0.09	0.24	0.45	0.22
Papel	15	1.01	0.07	0.17	0.51	0.25
Imprenta y publicaciones	13	0.86	0.16	0.20	0.33	0.31
Industria química	14	0.91	0.07	0.09	0.43	0.41
Derivados del petróleo	17	1.20	0.02	0.04	0.75	0.19
Caucho y plásticos	13	0.86	0.08	0.20	0.45	0.27
Piedra, cerámica y vidrio	16	1.02	0.08	0.21	0.41	0.30
Metales primarios	17	1.17	0.06	0.17	0.56	0.21
Transformados metálicos	14	0.74	0.09	0.21	0.46	0.24
Maquinaria no eléctrica	15	0.92	0.12	0.21	0.42	0.25
Equipos eléctricos	12	0.71	0.14	0.19	0.42	0.25
Equipamiento de transporte	14	0.65	0.08	0.15	0.57	0.20
Instrumentos	14	0.87	0.14	0.17	0.34	0.35
Fabricaciones diversas	13	0.72	0.10	0.21	0.44	0.25
Valor promedio general	14	0.87	0.16	0.51	0.10	0.23

Dado el tipo de producto que se va a elaborar, el tipo de industria correspondiente es el de fabricaciones diversas. Por lo que los ratios a utilizar son:

$$Vm = 13 \quad a = 0.72 \quad b = 0.10 \quad c = 0.21 \quad d = 0.44 \quad \text{Resto} = 0.25$$

Estos no se utilizarán sólo en el cálculo de costes, sino también para el de ingreso, y por tanto para el de beneficios.

8.2. Cálculo de Costes y Beneficios

La metodología empleada para la estimación está recogida en el libro “**Metodología del Diseño Industrial**” de **Mónica García Melón**, y comprende una serie de pasos a seguir en orden.

8.2.1. Estimación del volumen de producción (n_{prod})

Se debe realizar una estimación lo más objetiva y razonable posible, para evitar que los cálculos actúen en nuestra contra. Una visión demasiado optimista puede suponer que los resultados económicos previstos sean imposibles de alcanzar, y que por el lanzamiento termine con un balance negativo. El volumen previsto debe estar basado en la situación del mercado en el que se va a mover el producto, el tipo de bien comercializado, el grado de innovación, y en cuantos factores se considere necesario.

Según lo visto en el Pliego de Condiciones de Marketing en el apartado 2.2, tenemos entre 127.970 y 154.605 clientes potenciales en España. Se trata de un cálculo

aproximado y optimista, y lo más seguro que muy a la larga se pueda hablar de esas cantidades. Dado que es un país que actualmente está en crisis, deberíamos pensar en una partida inicial inferior. Viendo la situación del resto de sectores, se podría decir que el sector de las sillas de ruedas ha tenido un descenso en las ventas de aproximadamente el 75%, siendo pesimistas.

Otra opción es comercializar nuestro producto en el extranjero, ya sea a nivel europeo como a nivel mundial. No obstante, para ello nuestra empresa debe recorrer un largo camino para darse a conocer. La venta internacional por el momento podría recuperar un porcentaje de un 5% en las ventas.

Escogiendo la cantidad de clientes potenciales más pequeña y los porcentajes ya citados, calculamos el volumen de producción.

$$n_{\text{prod}} = 127.970 * (1 - 0,75 + 0,05) = 38.391 \text{ unidades}$$

Redondeando

$$n_{\text{prod}} = 38.000 \text{ Unidades}$$

8.2.2. Prefijar el Precio de Venta al Público (PVP)

Nuestra intención es que el precio sea competitivo, teniendo en cuenta las prestaciones del producto, y el nivel de precios de aquellos con los que de forma más o menos directa va a competir.

Existen muchos tipos de sillas de ruedas en el mercado, con infinidad de prestaciones. Al fin y al cabo, cada usuario adopta una silla en función de sus limitaciones o enfermedad. Nosotros queremos ofrecer una innovación frente a las sillas de ruedas convencionales. Tenemos un ejemplo de silla ultraligera cuyo precio ronda los 2.200 €. La ligereza es un factor muy solicitado y en este ejemplo, el proceso de optimización y el material requerido para que la silla tenga los 6 kg de peso son cosas que incrementan bastante el precio.

Los modelos con sistemas alternativos de propulsión tienen un precio de entre 2.500 y 3.500 €. Nuestra silla, por sí sola, se presenta como una silla ligera, con unas ruedas especiales que permiten la incorporación de un cómodo mecanismo de propulsión. A nuestro favor tenemos:

- La posibilidad de convertirse fácilmente en una silla corriente compacta y medianamente ligera.
- La incorporación rápida del sistema de propulsión.
- El sistema de propulsión en sí, que la mayoría de sillas de ruedas no tiene.
- Los mandos de freno en la empuñadura.
- La posibilidad del cambio de sentido.
- Un asiento que ofrece máximo confort.
- Una fácil y rápida regulación del reposapiés.
- Un atractivo visual considerable y una imagen moderna.

Tenemos requisitos suficientes para poder competir pero, a pesar de ello, carecemos del prestigio de las otras marcas debido a nuestra reciente entrada al mercado. En conclusión, el producto deberá tener un precio similar o ligeramente inferior a los de la competencia si desea abrirse paso en el mercado.

Por esta razón, **el precio inicial de nuestro producto será de 2.300 €.**

$$\text{PVP} = 2.300 \text{ €}$$

8.2.3. Obtención del Precio de Venta Directa (PVD)

Este es el precio al que se vende el producto a los intermediarios. Para su cálculo hay que tener en cuenta el margen de beneficio que se lleva el mismo. Este margen suele ser característico de cada producto, pero de forma orientativa, siendo el producto un bien de consumo último, se considera que el margen será del 40%.

$$PVP - \text{Margen} = PVD \rightarrow PVD = 150 (1-0.4) = 1.380 \text{ €}$$

8.2.4. Obtención del Total de los Ingresos por Ventas Anuales (VA)

Los ingresos anuales serán el precio de venta directo por el volumen de la producción:

$$VA = PVD * n_{\text{prod}} = 1.380 * 38.000 = 52.440.000 \text{ €}$$

8.2.5. Cálculo de la Inversión Necesaria (CT)

Para el cálculo del CT se emplea el ratio “a” de las tablas anteriores, una vez calculadas las ventas anuales. Como ya se ha dicho, el grupo industrial es el de fabricaciones diversas por lo que:

$$\begin{aligned} a &= 0.72 \\ CT / VA &= a \rightarrow CT = a * VA = 0.72 * 52.440.000 \\ CT &= 37.756.800 \text{ €} \end{aligned}$$

8.2.6. Cálculo de los Costes Fijos Anuales (Cf)

Los distintos aspectos que componen los costes fijos anuales se calculan por separado.

- Mano de Obra Indirecta (MOI): se emplea el ratio “b”.

$$\begin{aligned} b &= 0.10 \\ MOI / VA &= b \rightarrow MOI = b * VA = 0.10 * 52.440.000 \\ MOI &= 5.244.000 \text{ €} \end{aligned}$$

- Amortización Anual (mediante Vm y CT): se supone que la amortización de los equipos, obras e instalaciones es lineal, y se emplea el ratio Vm.

$$\begin{aligned} Vm &= 13 \text{ años} \\ \text{Amortización} &= CT / Vm = 37.756.800 / 13 \end{aligned}$$

$$\text{Amortización} = 2.904.369,2 \text{ €/año}$$

- Otros (seguros, gastos financieros, etc.): se estima que supone un 7% del VA.

$$\text{Otros} = 0.07 * VA = 0.07 * 52.440.000$$

$$\text{Otros} = \mathbf{3.670.800 \text{ €}}$$

Los costes fijos son la suma de estos tres componentes:

$$Cf = b * VA + CT / Vm + 0.07 * VA = \mathbf{11.819.169 \text{ €}}$$

8.2.7. Cálculo de los Costes Variables (Cv)

- Mano de Obra Directa (MOD): se emplea el ratio c.

$$\begin{aligned} c &= 0.21 \\ \text{MOD} / VA &= c \rightarrow \text{MOD} = c * VA = 0.21 * 52.440.000 \\ \text{MOD} &= \mathbf{11.012.400 \text{ euros}} \end{aligned}$$

- Materias Primas (MP): finalmente se usa el ratio d.

$$\begin{aligned} d &= 0.44 \\ \text{MP} / VA &= d \rightarrow M = d * VA = 0.44 * 52.440.000 \\ M &= \mathbf{23.073.600 \text{ €}} \end{aligned}$$

Por lo que los costes variables son:

$$Cv = c * VA + d * VA = \mathbf{34.086.000 \text{ €}}$$

8.2.8. Construcción del Diagrama de Equilibrio:

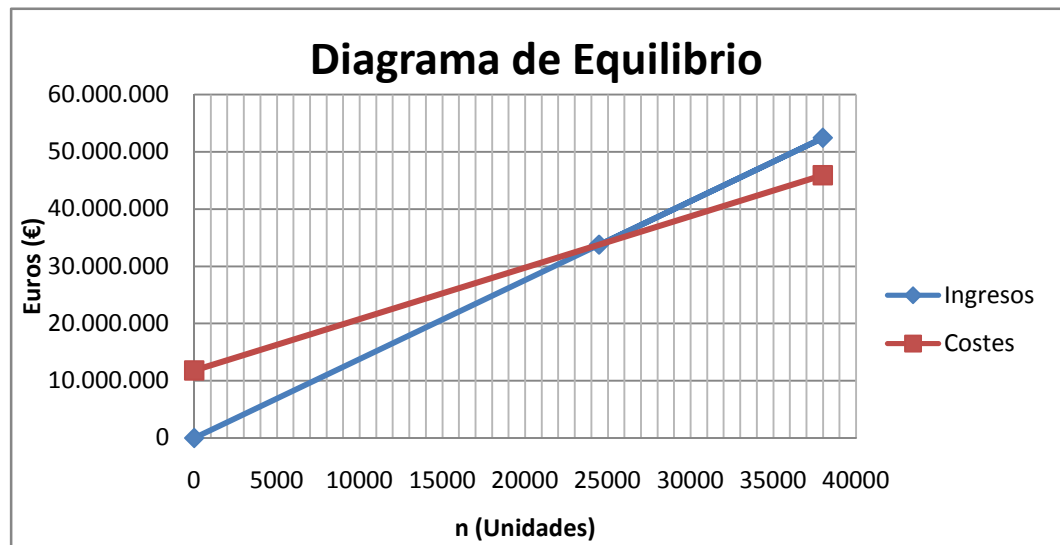
Suponiendo que se vendan todas las unidades que se producen, los ingresos en función de estas son:

$$I = PVD * n_{\text{prod}}$$

Y los costes fijos y variables para el valor prefijado de VA se ha obtenido en los cálculos anteriores. Con todo ello se procede a la elaboración del diagrama de equilibrio de la siguiente forma:

- En primer lugar se sitúan los valores de Cv y Cf en un diagrama de costes y beneficios en función de n_{prod} , para el número prefijado de n. Por el punto suma de ambos pasará la recta de costes.
- En segundo lugar se establece la recta de costes. Para ello ha que tener en cuenta que los costes fijos no dependen de n, por lo que la recta cortará al eje de coordenadas en ese punto. Dado que se supone una variación lineal de los costes totales, uniendo los dos puntos establecidos se obtiene la recta.
- Por último, se añade la recta de ingresos, que es una recta de pendiente PVD que pasa por el origen.

Una vez realizado, el diagrama de equilibrio permite analizar de forma rápida la situación esperada. Con los datos referentes a la silla de ruedas se obtiene el siguiente diagrama:



Para hallar el punto de equilibrio (en el que los ingresos igualan a los costes), basta con expresar ambas rectas en función de n.

$$\text{Recta de costes} = y_1 = 11.819.169 + (0.44 + 0.21) * 1380 * n$$

$$\text{Recta de ingresos} = y_2 = 1380 * n$$

$$8564,615 + 0,65 n = n$$

$$\text{Punto de equilibrio} \rightarrow n = 24.471 \text{ unidades}$$

Por lo que el margen de viabilidad (número de unidades a vender tal que los ingresos superan a los costes) es de **13.529 unidades**.

Hay que tener en cuenta que el número de unidades vendidas es una estimación (aunque sea partiendo de un valor objetivo razonable) y que, por tanto, está sujeta a variaciones. Por ello es interesante expresar los beneficios en función de las unidades producidas (n_p) y vendidas (n_v). Para ello se puede considerar que en caso de vender menos unidades que las producidas, las sobrantes se venderán a un precio reducido (precio de venta residual, PVR). Por tanto:

$$\text{Costes: } Ct = Ct(n_p)$$

$$\text{Beneficios Brutos: } B^o = n_v * PVD + (n_p - n_v) * PVR - Ct(n_p)$$

En el caso considerado para los cálculos, en el que se supone que todas las unidades se venden, el término de PVR se anula, por lo que los beneficios se hallan restando al valor máximo de la recta de ingresos, el valor máximo de la recta de costes.

$$\text{Beneficios Brutos} = 52.440.000 - 45.905.169 = 6.534.831 \text{ €}$$





CAPÍTULO 9: CRÍTICA

CAPÍTULO 9: CRÍTICA

Una vez terminado el proceso de diseño es recomendable realizar una crítica tanto del trabajo realizado como de los resultados obtenidos. De esta forma se identifican no sólo los errores achacables en exclusiva a este diseño, sino también posibles errores generales en las distintas fases.

Analizando el desarrollo de todo el trabajo realizado, hay un primer problema del que probablemente derivarán en gran medida los demás. Este diseño ha sido realizado por una única persona, si bien es cierto que puntualmente ha podido haber influencias externas por discusiones fuera del ámbito de trabajo. Por tanto todo el proceso queda sujeto a los enfoques, ideas y pareceres de un individuo. Realizándolo de esta forma es complicado que el diseño no tenga errores, ya que es complicado ver los propios. El hacerlo sólo supone una mayor carga de trabajo para el diseñador, y por tanto un mayor nivel de saturación. Además la calidad de cada una de las soluciones hallada para satisfacer cada una de las funciones, así como la estética quedan supeditadas a la habilidad de una persona para todos los campos. Por ello cualquier factor que afecte simplemente a una persona, puede influir notablemente en el resultado. Esta tarea se debe llevar a cabo en grupo, de forma que se combinen los puntos fuertes de los distintos miembros, dando un buen resultado.

Analizando una fase concreta, el análisis funcional, en la parte de identificación de funciones se ha seguido un único método (método RED). Existen otros que en principio son igualmente efectivos. Claro está que cada uno ha sido establecido por una persona o grupo de personas, y que, por tanto, son susceptibles de olvidar cosas, o centrarse más en uno u otros aspectos. Una combinación de métodos probablemente llevaría a un mejor resultado, o sino la búsqueda en grupo del método que mejor se adapte al tipo de producto que se quiere realizar.

Por otra parte aquí se ha realizado un trabajo lineal, con un principio y un fin. Sin embargo un diseño debe ser algo vivo. Una vez terminado debe repasarse, hay que corregir los errores encontrados, y buscar posible mejoras de los elementos aunque funcionen. Por ejemplo, en el método de la convergencia controlada, la comparación se ha realizado una única vez, mientras que para que el proceso sea realmente efectivo, hay que realizarla varias, sacando conclusiones de cada una y revisando las soluciones presentadas cada vez.

Lo lógico después de realizar el AMFE hubiese sido buscar la forma de que los elementos que tenían un NPR mayor que 100 para determinados modos de fallo obtuviesen un NPR menor. Hacer de un diseño algo vivo es la única forma de que el producto no quede obsoleto en un corto plazo de tiempo y, por tanto, quede fuera del mercado, con las pérdidas que eso conlleva. No es lo mismo actualizar un diseño bueno con aceptación en el mercado, que empezar un producto desde cero y tratar de que se haga un hueco.

También es cierto que estos fallos, como el hecho de dejar como resultado algo que sería en la realidad un diseño preliminar, tienen que ver con las limitaciones formales y temporales, y con los objetivos que tiene un proyecto de fin de carrera.

Otro factor a tener en cuenta es que el proyecto ha sido realizado por un alumno. Con esto intento decir que éste puede que no posea ni la experiencia ni los medios para elaborar un producto que pueda funcionar sin fallos. Un ingeniero cualificado y experimentado es capaz de intuir con mayor certeza, por ejemplo, los pros y los contras de la aplicación de



una tolerancia u otra en las dimensiones de una pieza, además de emplear métodos más acertados para la creación, los cálculos y el análisis de su producto. Un alumno que diseña idealmente una pieza no puede conocer las dificultades existentes en la práctica, como las limitaciones de las máquinas herramientas. Un alumno rara vez puede contar con la maquinaria necesaria para realizar ensayos que le permitan comprobar el comportamiento real de una pieza o fabricar un prototipo.

Al empezar su vida laboral como ingeniero, dicho alumno, a través de un largo camino de fallos y aciertos, irá desarrollando un nuevo sentido común en el mundo de la ingeniería.



BIBLIOGRAFÍA

→ LIBROS

- DISEÑO DE PRODUCTO: METODOS Y TÉCNICAS. Jorge Alcaide Marzal, José A. Diego Más y Miguel A. Artacho Ramírez. Editorial Universidad Politécnica de Valencia 2001
- DISEÑO DE PRODUCTO: EL PROCESO DE DISEÑO. Alcaide Marzal, José A. Diego Más y Miguel A. Artacho Ramírez. Editorial Universidad Politécnica de Valencia 2001
- EL PROCESO DE DISEÑO EN INGENIERÍA. Clive L. Dym. Ed Limusa-Wiley 2002
- EL PRODUCTO ADECUADO. Robert Tassinari. Ed. Marcombo 1994
- METODOLOGÍA DEL DISEÑO INDUSTRIAL: UN ENFOQUE DESDE LA INGENIERÍA CONCURRENTE. Francisco Aguayo González. Ed Ra-Ma 2002
- MECANISMOS. S.N. Kozhevnikov. Editorial Gustavo Gili 1981
- DISEÑO DE MÁQUINAS. Robert L.Norton. Prentice Hall 1999.
- ELEMENTOS DE MECANISMOS. Venton Levy Doughie y Walter H. James. Editorial Continental 1986.
- ELEMENTOS DE MÁQUINAS. M.F. Spotts y T.E. Shoup. Prentice Hall 1999.
- DISEÑO DE MECANISMOS, ANÁLISIS Y SÍNTESIS. Arthur G. Erdman y George N. Sandor. Prentice Hall 1998.
- NORMALIZACIÓN DEL DIBUJO TÉCNICO. Cándido Preciado. Editorial Donostiarra 2004
- INTRODUCCIÓN AL CÁLCULO DE SOLICITACIONES. José Javier Lumbreras Azanza. Editorial Universidad Pública de Navarra 2007.
- ENCYCLOPÉDIE MÉDICO-CHIRURGICALE. B Gullon I Laffont. Editions Scientifiques et Médicales Elsevier 2002.

→ APUNTES

- APUNTES DE DISEÑO INDUSTRIAL DE 3º DE ITI-MECÁNICA. Pedro María Villanueva Roldán 2009.
- APUNTES DE DISEÑO DE MÁQUINAS DE 3º DE ITI-MECÁNICA. Virginia Badiola Urquiola 2004

-APUNTES DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS DE 3º DE ITI-MECÁNICA.

-APUNTES DE SÍNTESIS DE MECANISMOS Y MÁQUINAS. I. Zabalza Villava 2010.

→ARTÍCULOS

-OPTIMUM PROPULSION TECHNIQUE IN DIFFERENT WHEELCHAIR HANDRIM DIAMETER. Lan-Yuen Guo, Fong-Chin Su y Kai-Nan An. Journal of Medical and Biological Engineering 2002.

-WHEELCHAIR PUSHRIM KINETICS: BODY WEIGHT AND MEDIAN NERVE FUNCTION. Michael L.Boninger, Rory A. Cooper. Arch Phys Med Rehabil 1999.

-MECHANICAL PRINCIPLES OF WHEELCHAIR DESIGN. Amos Winter y Ralf Hotchkiss.

-ANTROPOMETRÍA PARA DISCAPACITADOS. Enrique J. de la Vega Francisco O. López y Selene Soto. Universidad de Guanajuato 2004.

→NORMAS:

- **ISO-7176:** Wheelchairs.

- **UNE 111915:1991:** Sillas de ruedas. Dimensiones totales máxima.

- **UNE-EN 12183:2010:** Sillas de ruedas de propulsión manual. Requisitos y métodos de ensayo.

→CATÁLOGOS:

-WHEELBASE PRODUCTS B.V. Exploded Views Manual Wheelchair.

-LIFANTE VEHÍCULOS. Catálogo de sillas de ruedas plegables.

-INVACARE. Küschall Champion Wheelchair.

-SUNRISE MEDICAL. Quickie Xenon Wheelchair.

-OBEA CHAIR. Sillas de ruedas manuales.

-FAG. Catálogo Rodamientos

-SPEC WORLD WIDE SOLUTIONS. Catálogo Muelles.

-WASI NORM. Catálogo de productos normalizados.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL
ESPECIALIDAD MECÁNICA

Título del proyecto:

DISEÑO DE SILLA DE RUEDAS CON PALANCA DE
PROPULSIÓN

PLANOS

Iñaki Torán Huarte

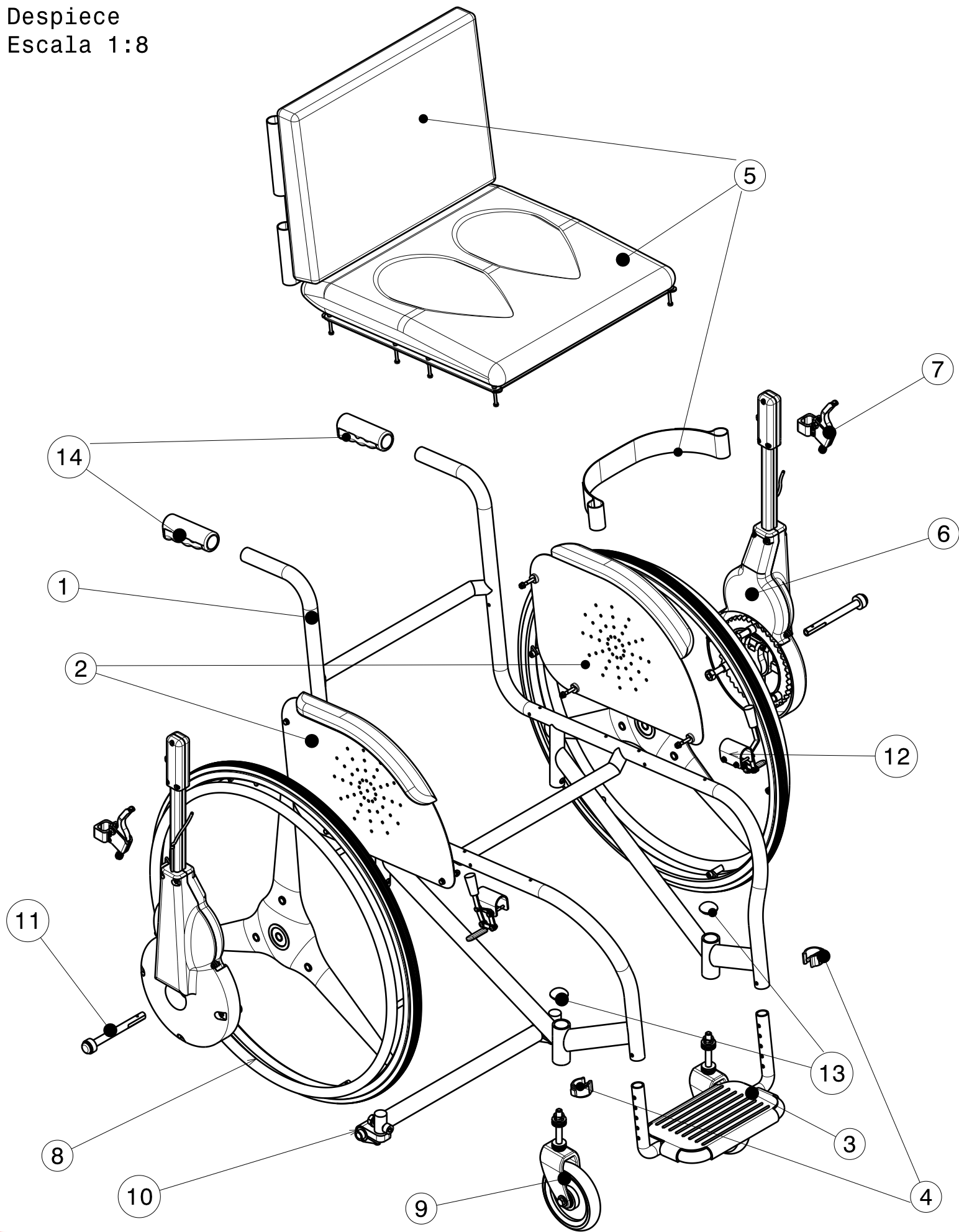
Pedro María Villanueva Roldán

Pamplona, 20 de Febrero de 2014

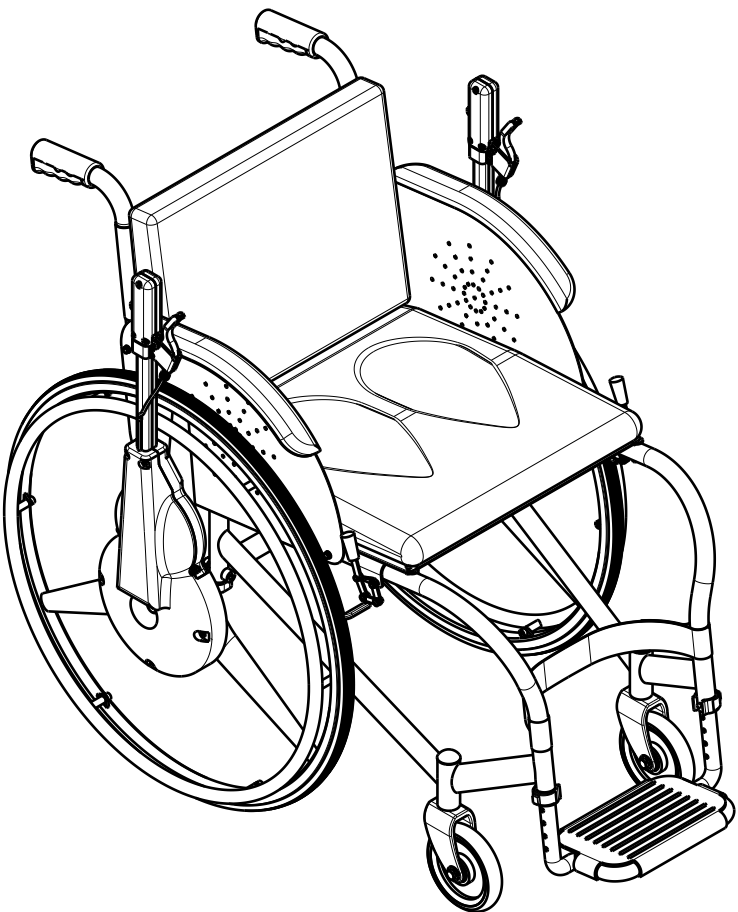
ÍNDICE DE PLANOS

Nº DE PLANO	NOMBRE DEL PLANO	FORMATO DE PLANO
1	Silla de ruedas, despiece	A3
2	Silla de ruedas, conjunto	A3
3	Chasis	A3
4	Reposabrazos, despiece	A4
5	Reposabrazos	A4
6	Reposapiés	A3
7	Abrazadera del reposapiés	A4
8	Asiento	A3
9	Palanca de propulsión	A3
10	Base de la palanca	A3
11	Cubierta	A4
12	Trinquete	A4
13	Plato del trinquete	A4
14	Muelle de torsión	A4
15	Articulaciones y pasador roscado	A4
16	Engranaje	A4
17	Superficie de frenado	A4
18	Guía del interruptor	A4
19	Interruptor	A4
20	Leva	A4
21	Seguidor	A4
22	Zapata	A4
23	Carcasa exterior	A4
24	Carcasa interior	A4
25	Mando del freno	A3
26	Soporte de los mandos de freno, parte 1	A4
27	Soporte de los mandos de freno, parte 2	A4
28	Maneta del freno	A4
29	Rueda trasera	A3
30	Llanta de la rueda trasera	A3
31	Aro de propulsión	A4
32	Neumático de la rueda trasera	A4
33	Rueda delantera	A3
34	Sistema del eje	A4
35	Barra de sujeción del eje	A4
36	Abrazadera del eje	A4
37	Eje de fácil extracción	A3
38	Sistema de bloqueo	A3


Despiece
Escala 1:8

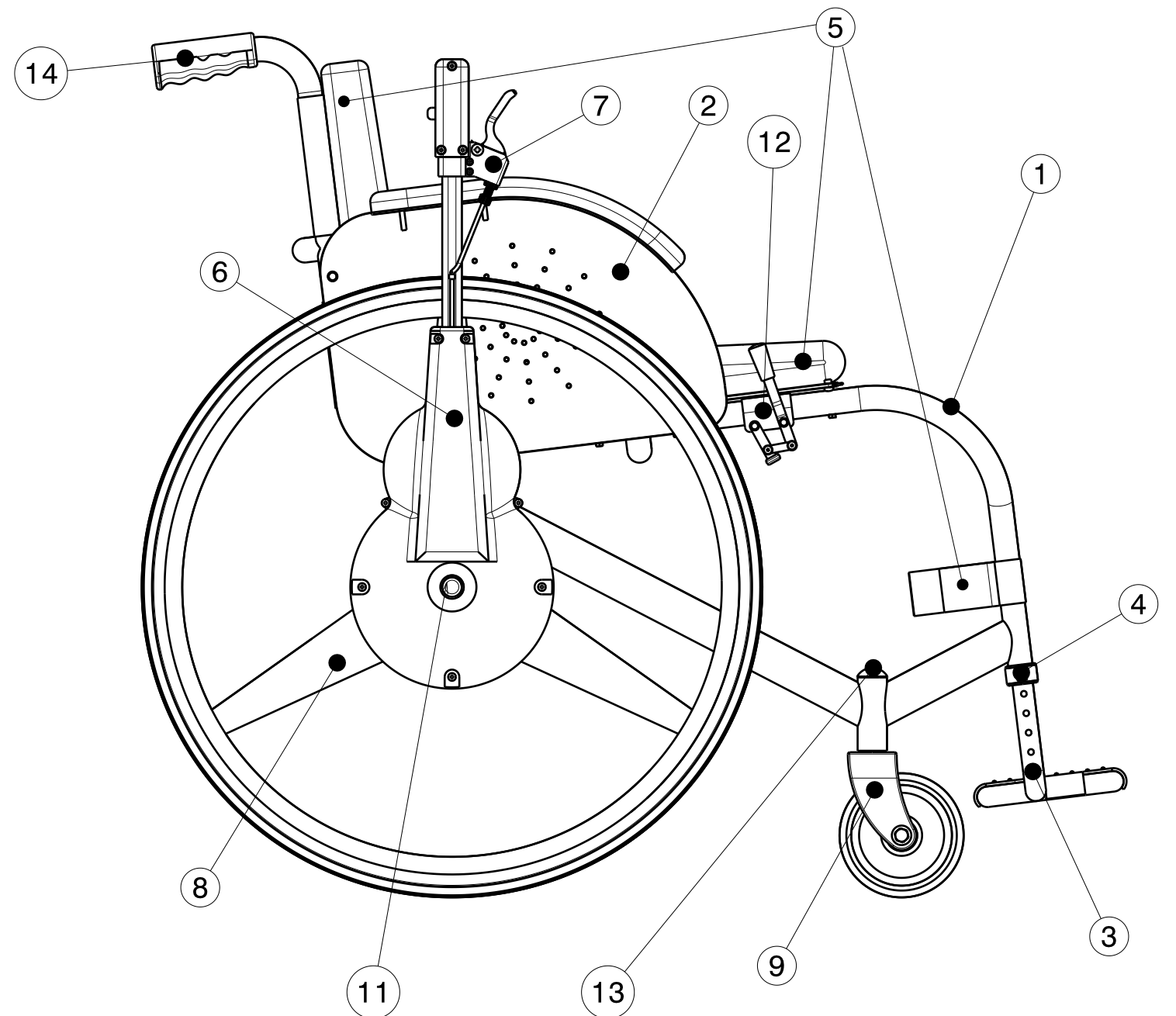
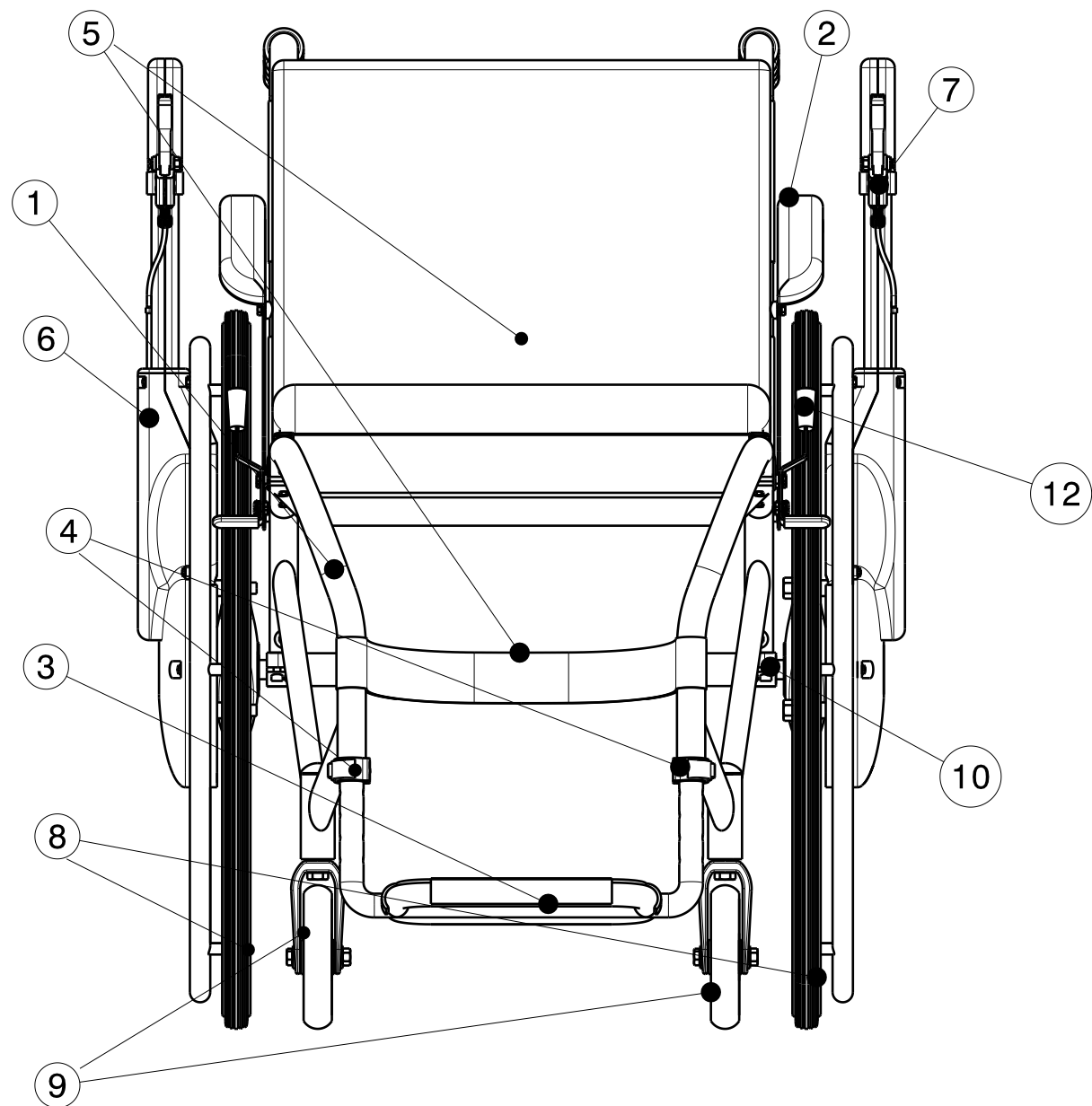


Vista isométrica
Escala 1:10




14	Empuñaduras	2	Espuma
13	Tapón	2	Plástico
12	Sistema de bloqueo	2(Simétricas)	-
11	Eje de fácil extracción	2	-
10	Sistema de eje	1	-
9	Rueda delantera o cáster	2(Simétricas)	-
8	Rueda trasera	2(Simétricas)	-
7	Mandos del freno	2(Simétricas)	-
6	Palanca de propulsión	2(Simétricas)	-
5	Asiento	1	-
4	Abrazadera del reposapiés	2(Simétricas)	-
3	Reposapiés	1	-
2	Reposabrazos	2(Simétricas)	-
1	Chasis	1	EN W 6063 T-5
Marca	Denominación	Nº Piezas	Material

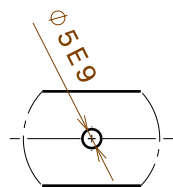
	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL	MATERIAL: -	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI		FIRMA:
PLANO: SILLA DE RUEDAS, DESPIECE		FECHA: 5/11/2013	ESCALA: 1:8 1:10	Nº PLANO: 1



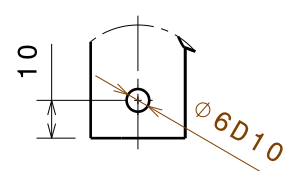
14	Empuñaduras	2	Espuma
13	Tapón	2	Plástico
12	Sistema de bloqueo	2(Simétricas)	-
11	Eje de fácil extracción	2	-
10	Sistema de eje	1	-
9	Rueda delantera o cáster	2(Simétricas)	-
8	Rueda trasera	2(Simétricas)	-
7	Mandos del freno	2(Simétricas)	-
6	Palanca de propulsión	2(Simétricas)	-
5	Asiento	1	-
4	Abrazadera del reposapiés	2(Simétricas)	-
3	Reposapiés	1	-
2	Reposabrazos	2(Simétricas)	-
1	Chasis	1	EN W 6063 T-5
Marca	Denominación	Nº Piezas	Material

	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL		MATERIAL: -	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI			FIRMA:
PLANO: SILLA DE RUEDAS, CONJUNTO		FECHA: 5/11/2013		ESCALA: 1:6	Nº PLANO: 2

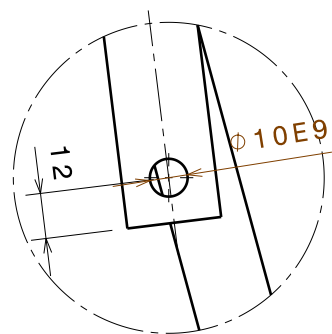
Detalle A
Escala: 1:2



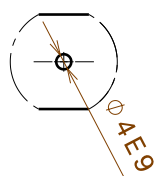
Detalle B
Escala 1:2



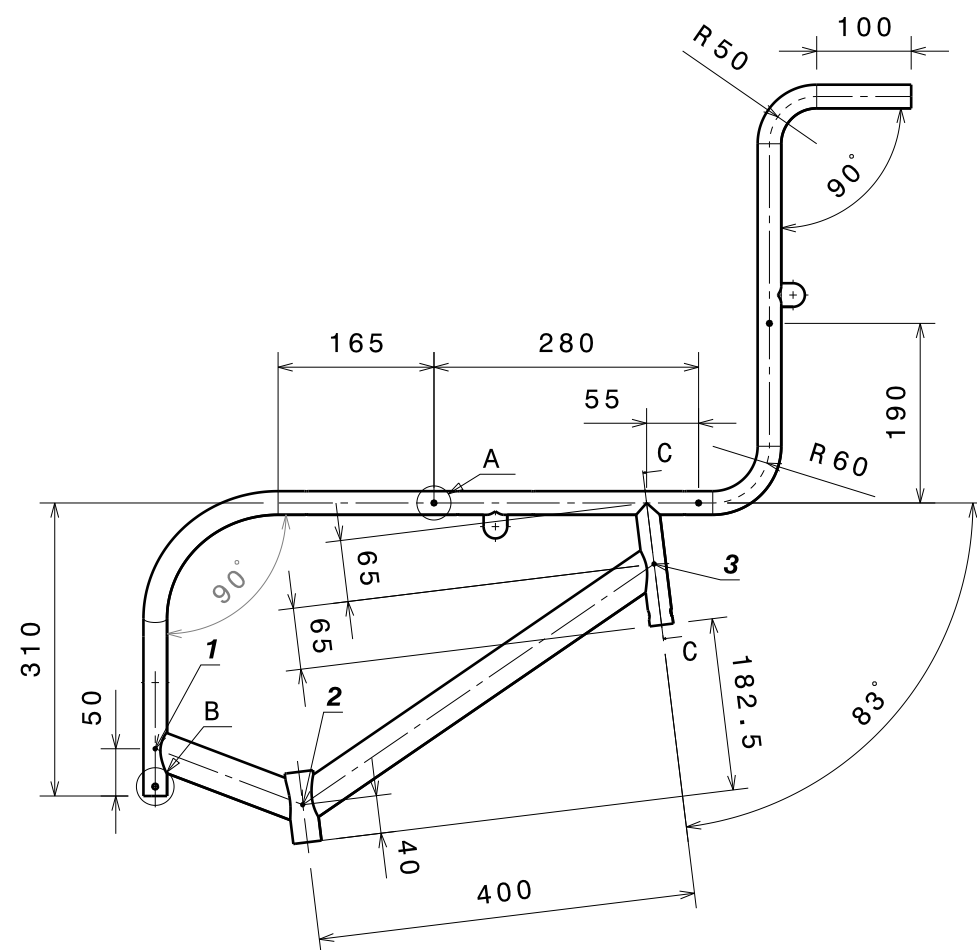
Vista auxiliar C
Escala: 1:2



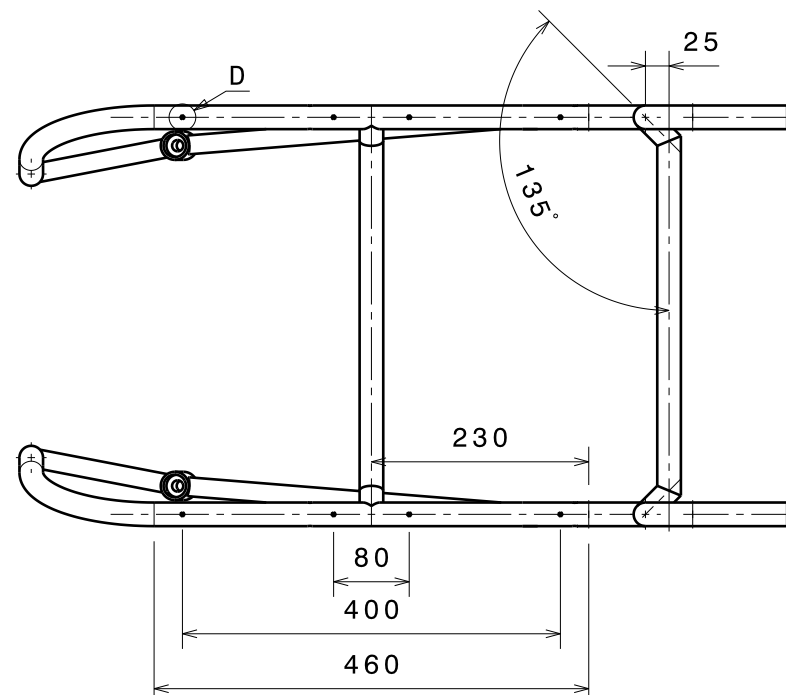
Detalle D
Escala 1:2



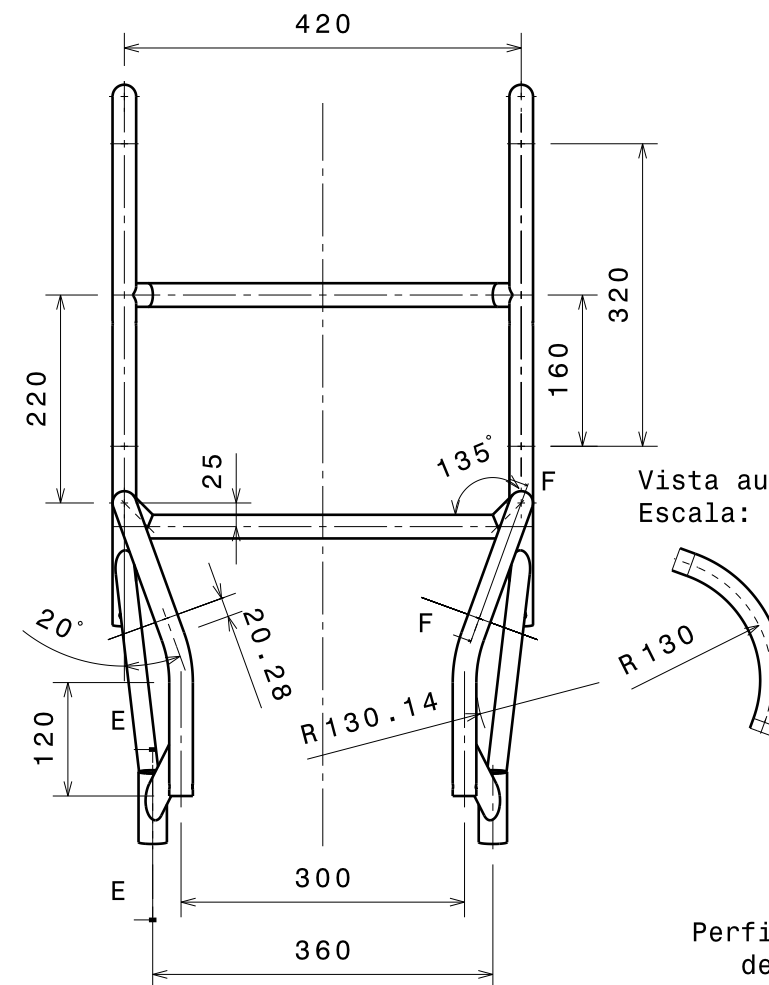
Alzado
Escala: 1:8



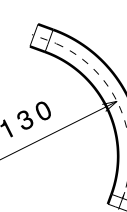
Planta
Escala: 1:8



Perfil
Escala: 1:8

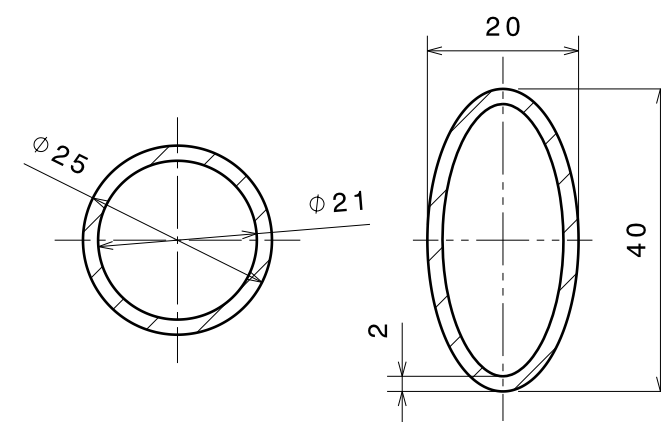
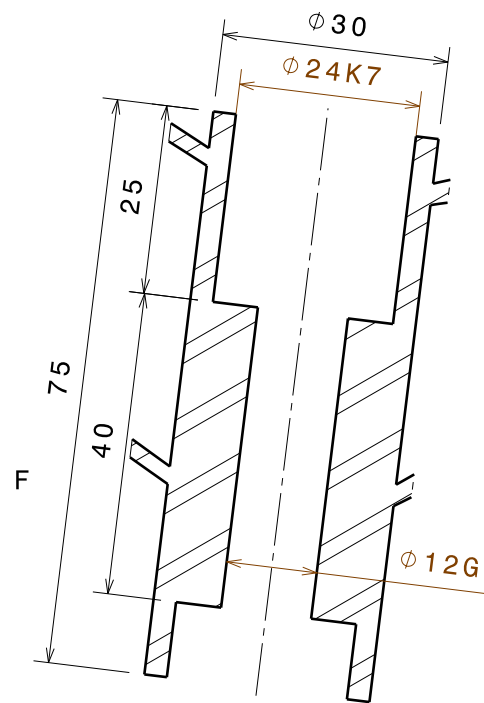



Vista auxiliar F
Escala: 1:8



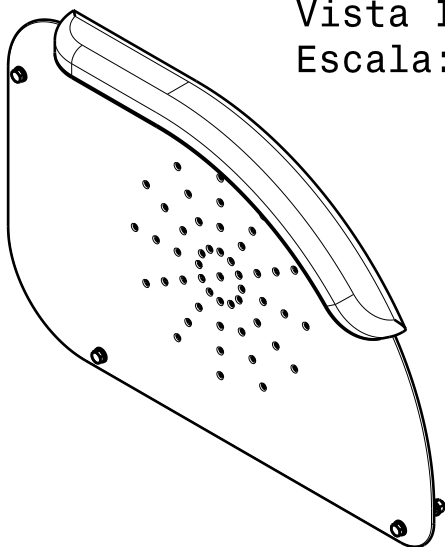
Perfil general
de barras
Escala: 1:1

Perfil de barras
1-2 y 2-3
Escala: 1:1

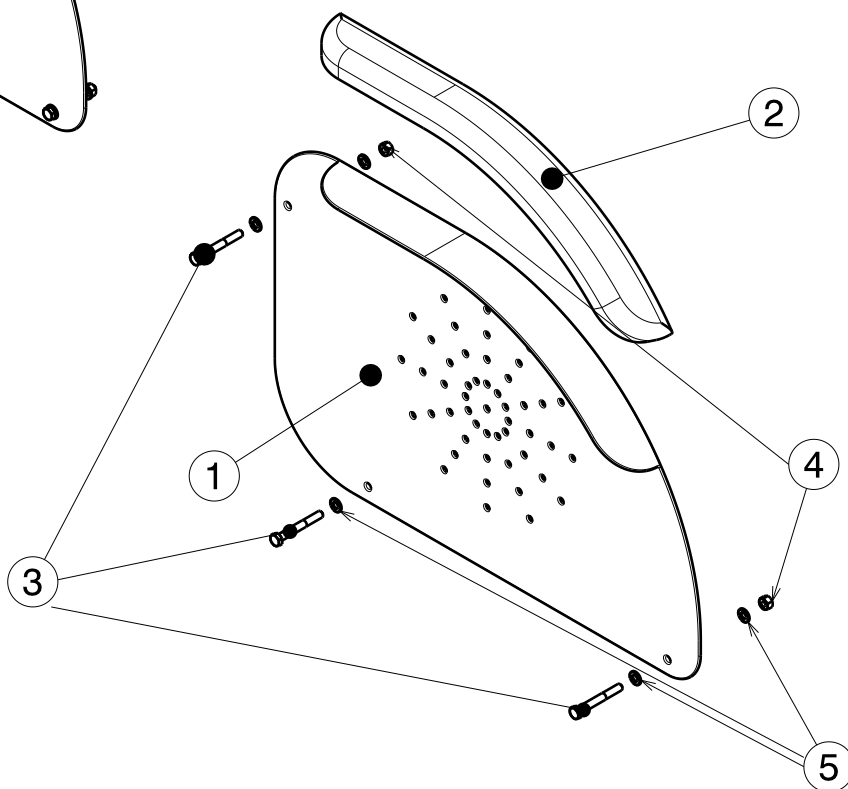


	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL	MATERIAL: EN W 6063 T-5	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI		FIRMA:
PLANO: CHASIS		FECHA: 5/11/2013	ESCALA: 1:8	Nº PLANO: 3

Vista Isométrica
Escala: 1:5



Despiece
Escala: 1:5



5	Arandela ISO 7089 5x10	6	-
4	Tuerca ISO 4032 M5	3	-
3	Tornillo ISO 4014 M5x40	3	-
2	Acolchado	1	Espuma de poliuretano
1	Reposabrazos	1	Aluminio EN W 6063 T-5
Marca	Denominación	Nº Piezas	Material



Universidad Pública de
Navarra
Nafarroako Unibertsitate
Publikoa

E.T.S.I.I.T.

TOLERANCIAS SEGÚN
NORMA ISO 2762-M

DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E ING. RURAL

MATERIAL:

-

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS
CON PALANCAS DE PROPULSIÓN

REALIZADO POR:

TORÁN HUARTE,
IÑAKI

FIRMA:

PLANO:

REPOSABRAZOS. DESPIECE

FECHA:

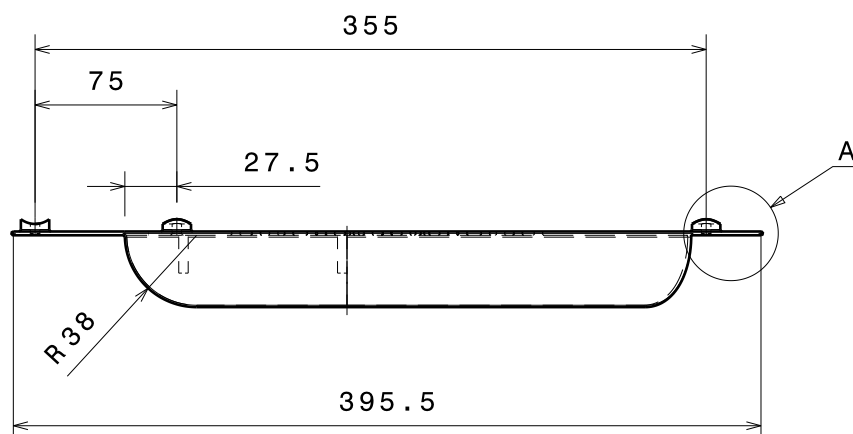
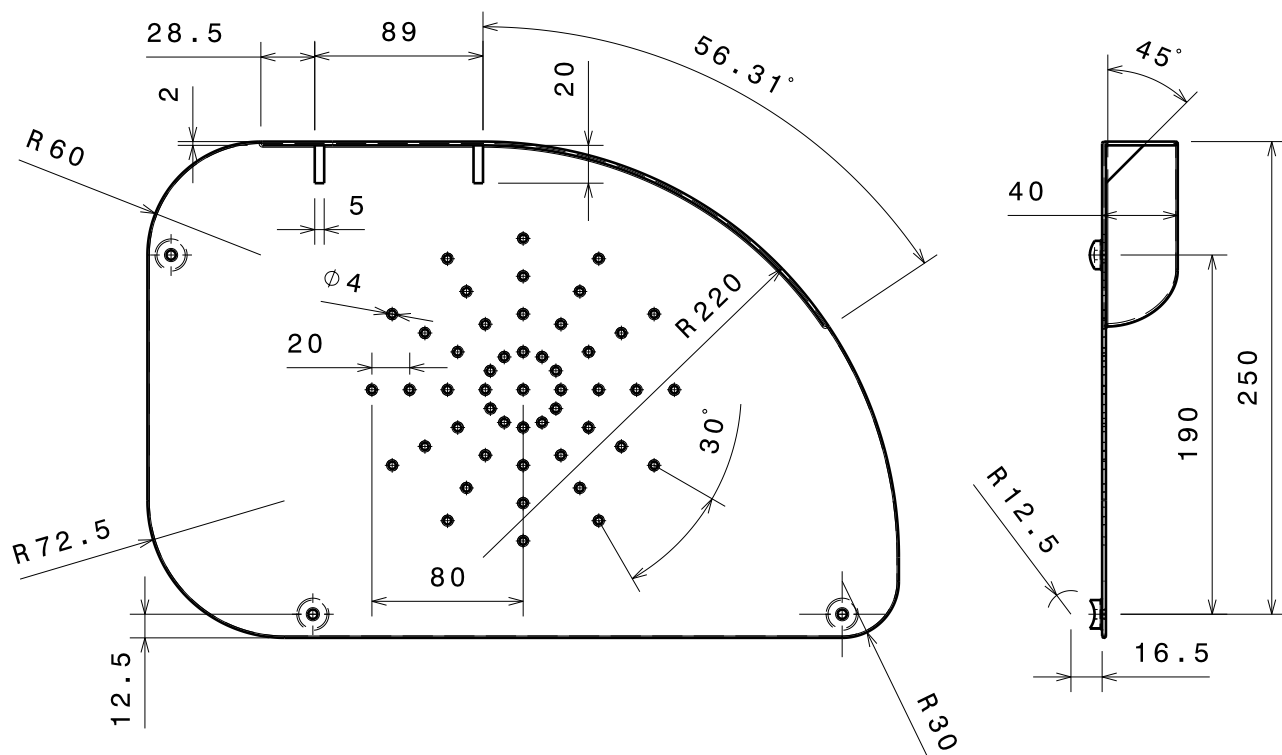
5/11/2013

ESCALA:

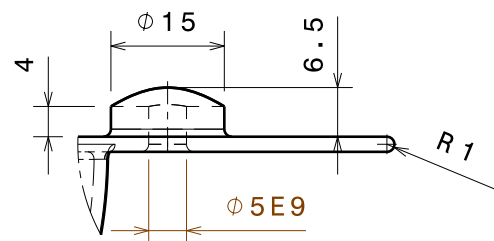
1:5


Nº PLANO:

4



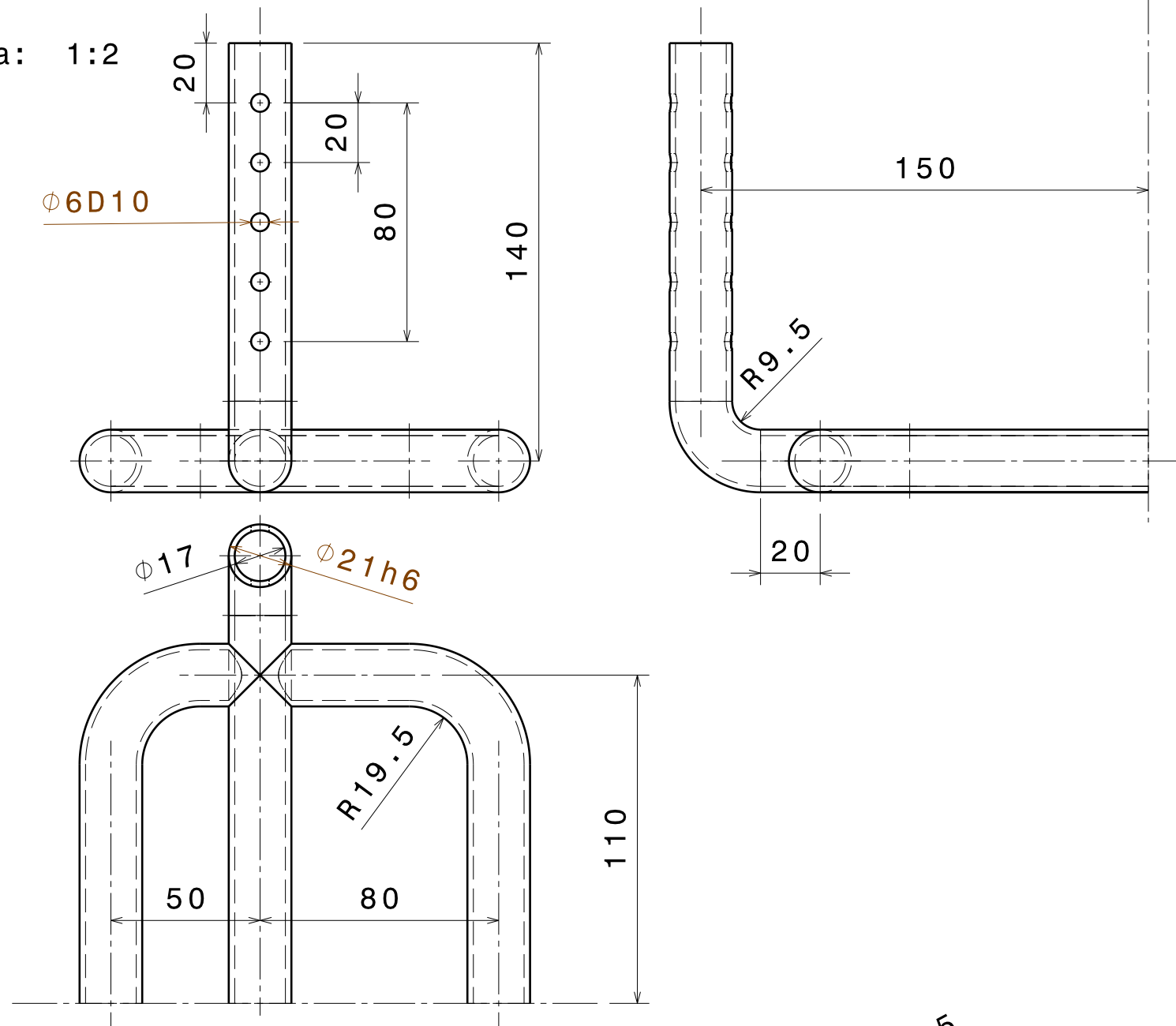
Detalle A
Escala: 1:1



	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL	MATERIAL: EN W 6063 T-5	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI		FIRMA:
PLANO: REPOSABRAZOS		FECHA: 5/11/2013	ESCALA: 1:4	Nº PLANO: 5

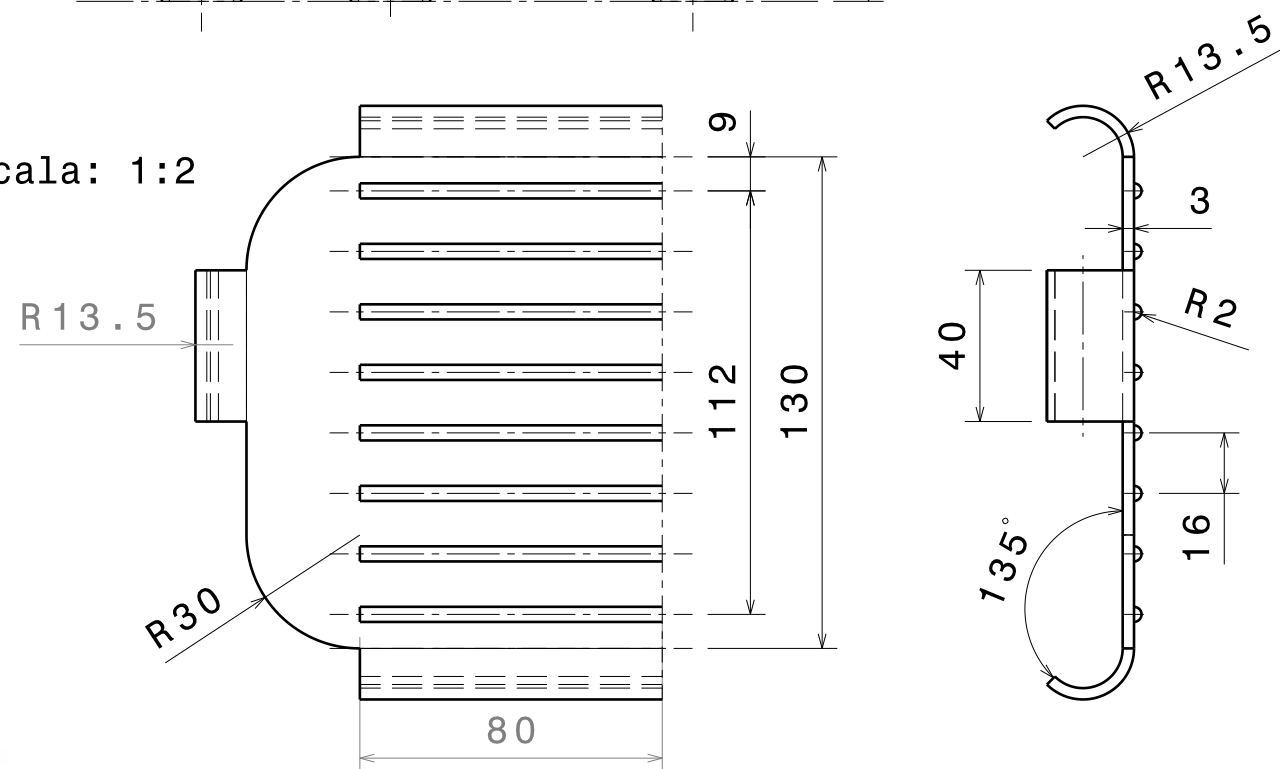
1

Escala: 1:2

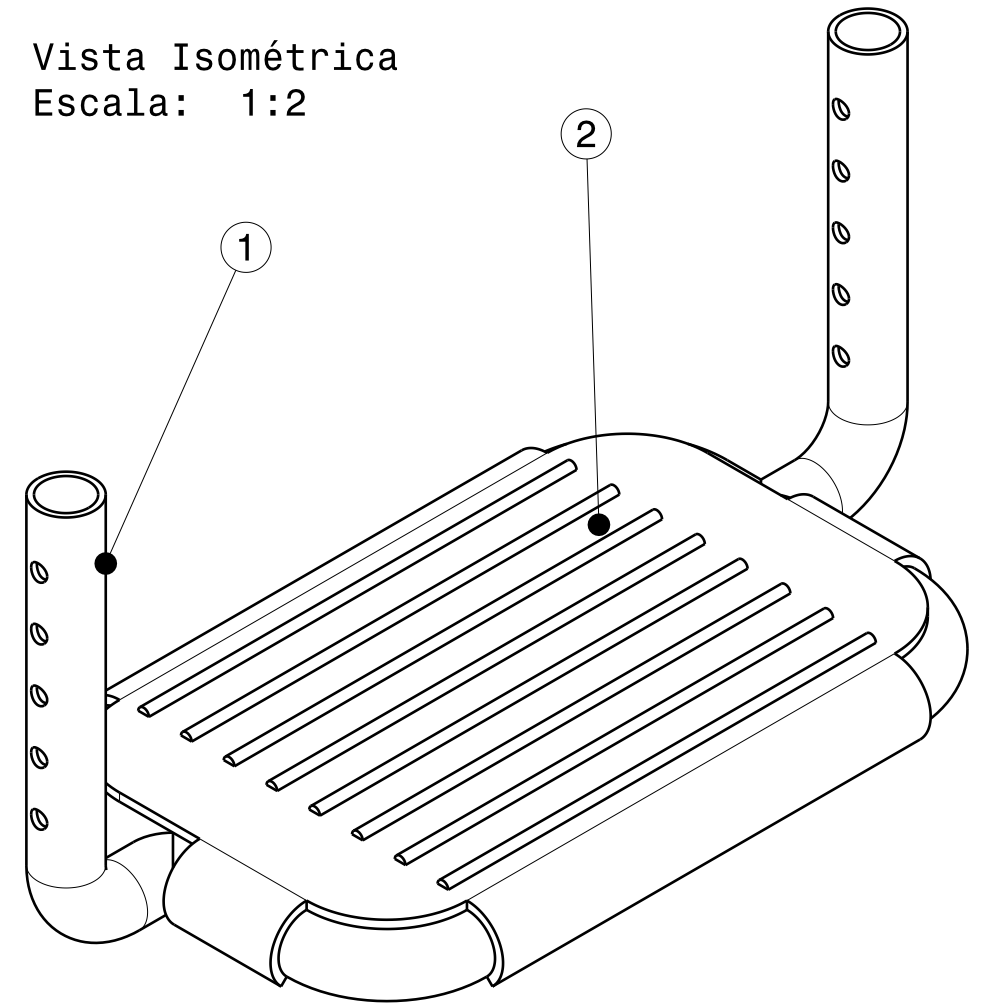


2


Escala: 1:2



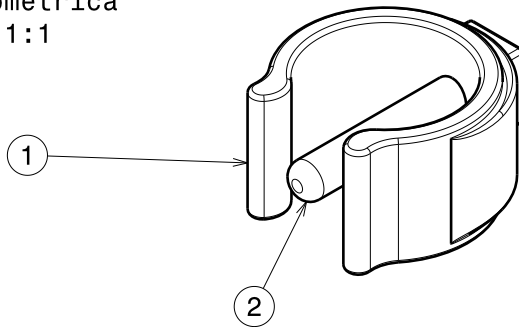
Vista Isométrica
Escala: 1:2



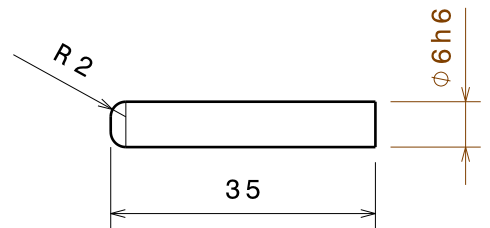
2	Tapa	1	Nylon
1	Reposapiés	1	Aluminio EN W 6063 T-5
Marca	Denominación	Nº Piezas	Material

	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL	MATERIAL: -	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI		FIRMA:
PLANO: REPOSAPIÉS		FECHA: 5/11/2013	ESCALA: 1:2	Nº PLANO: 6

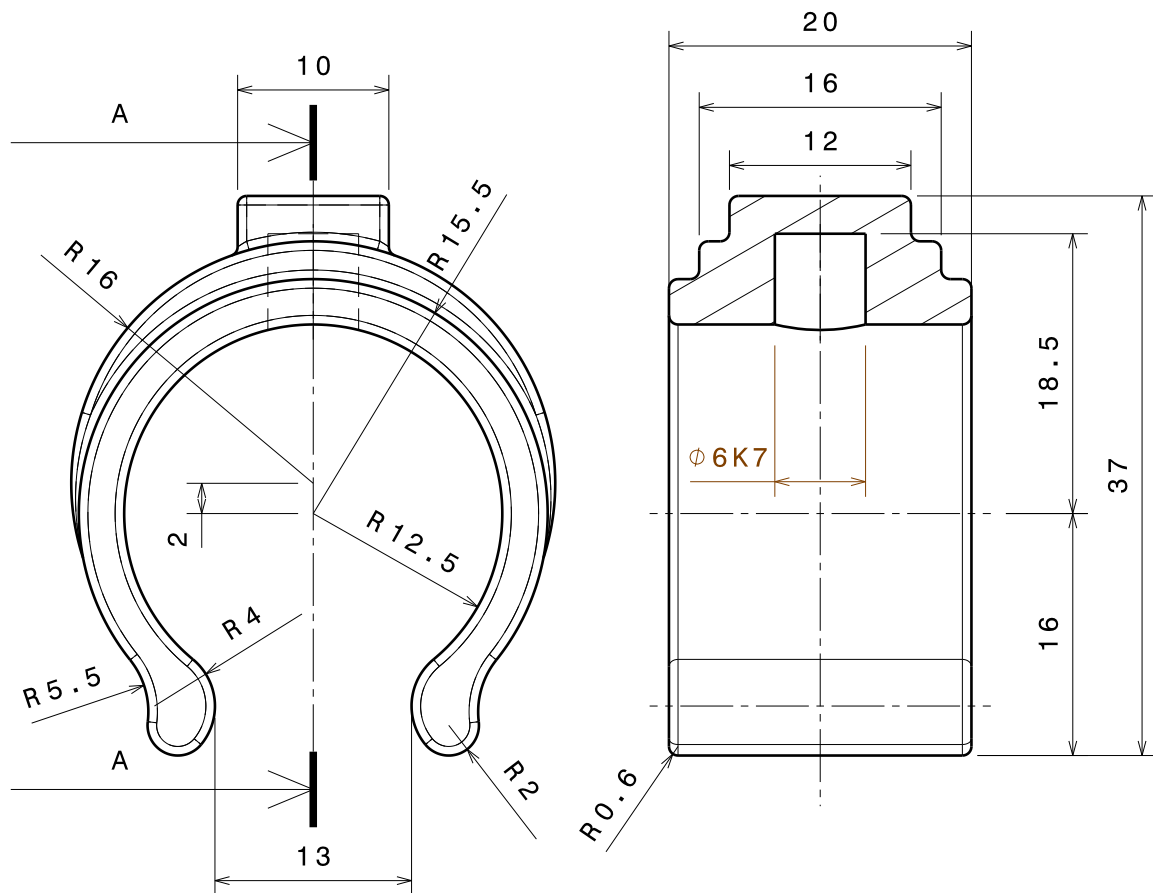
Vista isométrica
Escala: 1:1



2
Escala: 1:1



1
Escala: 2:1



2	Pasador	1	Acero
1	Abrazadera	1	Nylon
Marca	Denominación	Nº Piezas	Material



Universidad Pública de
Navarra
Nafarroako Unibertsitate
Publikoa

E.T.S.I.I.T.

DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E ING. RURAL

TOLERANCIAS SEGÚN
NORMA ISO 2762-M

MATERIAL:

FIRMA:

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS
CON PALANCAS DE PROPULSIÓN

REALIZADO POR:

TORÁN HUARTE,
IÑAKI

PLANO:

ABRAZADERA DEL REPOSAPIÉS

FECHA:

5/11/2013

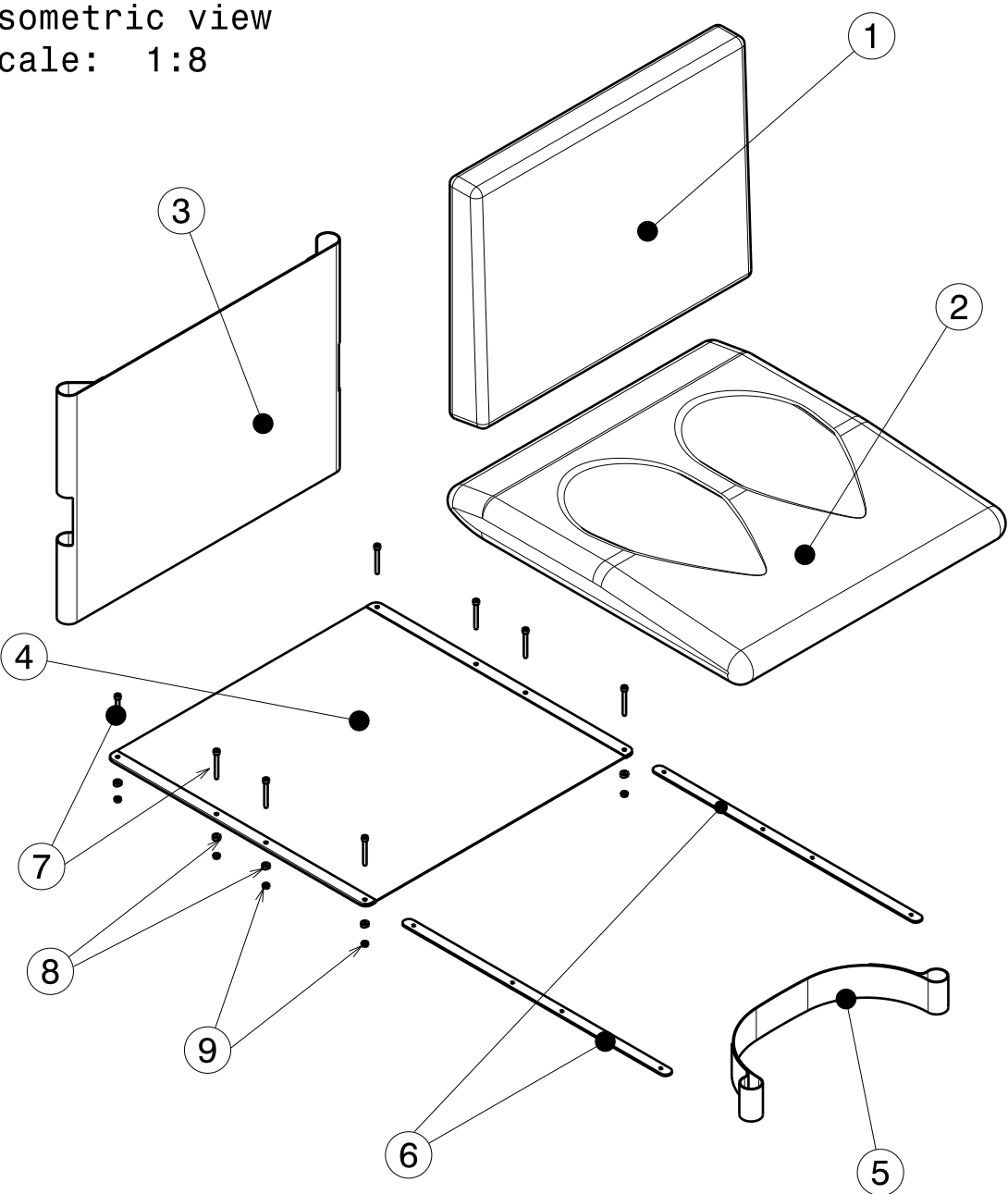
ESCALA:

1:1
1:2

Nº PLANO:

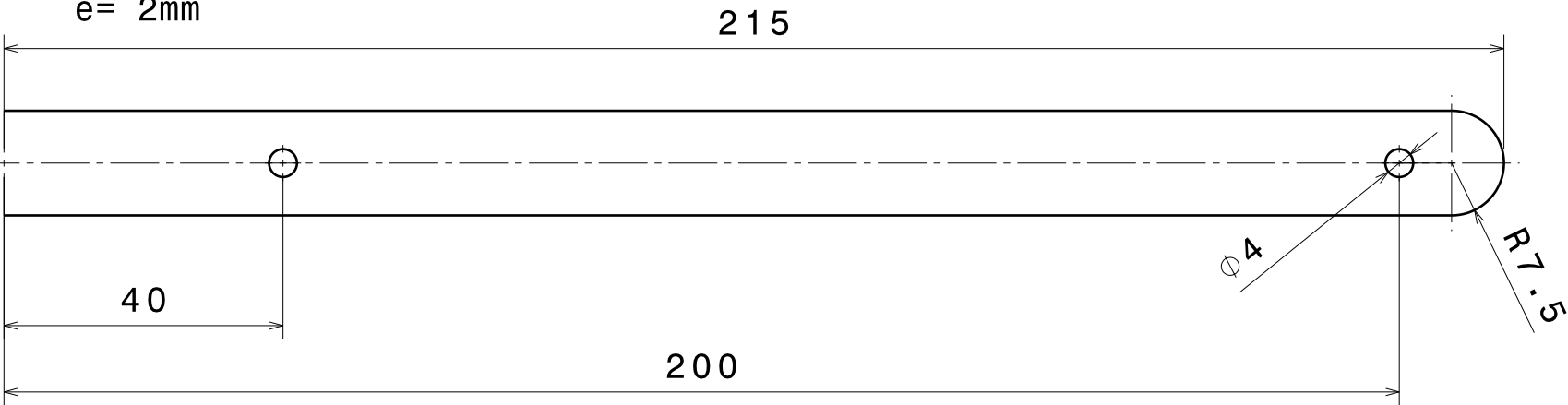
7

Isometric view
Scale: 1:8



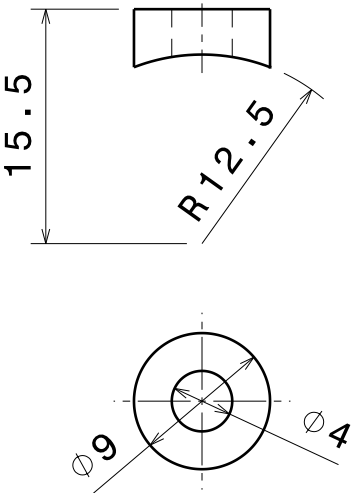
6

Escala: 1:1
e= 2mm




8

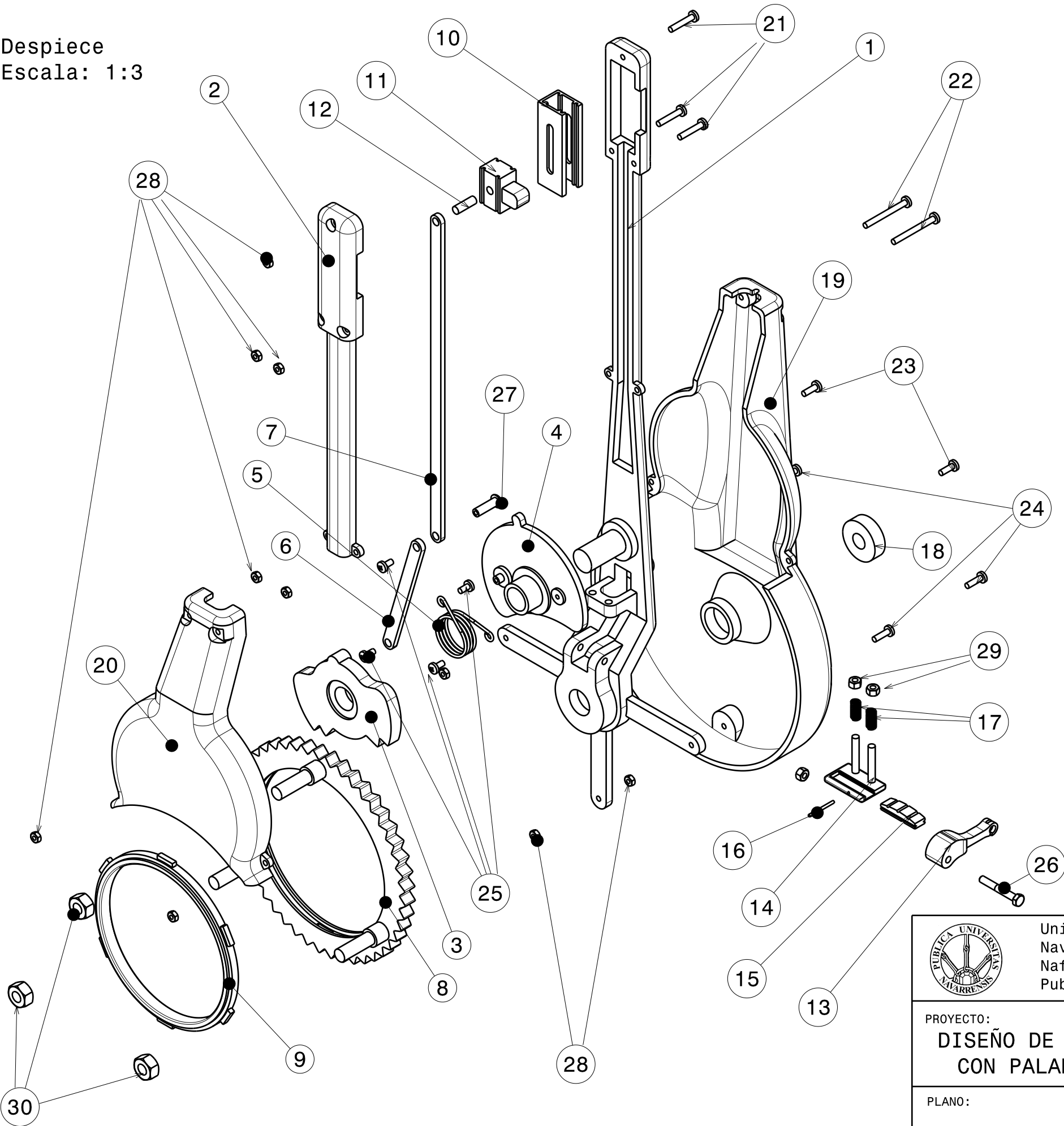
Escala: 2:1



9	Tuerca ISO 4032 M4	8	-
8	Fijador	8	Plástico
7	Tornillo Allen ISO 4762 M4x35	8	-
6	Guías	2	Acero
5	Cinta pantorrillas	1	Tela de nylon
4	Tela de sujeción glúteos	1	Tela de nylon
3	Tela de sujeción espalda	1	Tela de nylon
2	Acolchado glúteos	1	Espuma de puliuretano
1	Acolchado espalda	1	Espuma de puliuretano
Marca	Denominación	Nº Piezas	Material

	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL	MATERIAL: -	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI		FIRMA:
PLANO: ASIENTO		FECHA: 5/11/2013	ESCALA: 1:8 1:1 2:1	Nº PLANO: 8

Despiece
Escala: 1:3



30	Tuerca ISO 4032 M10	3	-
29	Tuerca ISO 4032 M5	3	-
28	Tuerca ISO 4032 M4	10	-
27	Pasador con rosca int.	1	Acero
26	Tornillo ISO 4014 M5x35	1	-
25	Tornillo ISO 7045 M4x8	4	-
24	Tornillo ISO 7045 M4x14	3	-
23	Tornillo ISO 7045 M4x12	2	-
22	Tornillo ISO 7045 M4x40	2	-
21	Tornillo ISO 7045 M4x25	3	-
20	Carcasa interior	1	Nylon
19	Carcasa exterior	1	Nylon
18	Rodamiento 6201-C-2Z	1	-
17	Muelle a comp. D11310	1	-
16	Pasador ISO 2338 M2x24	1	-
15	Zapata	1	Caucho
14	Seguidor de cara plana	1	EN W 6063 T-5
13	Leva	1	EN W 6063 T-5
12	Pasador ISO 2338 M6x18	1	-
11	Interruptor	1	Nylon
10	Guía del interruptor	1	Nylon
9	Superficie de frenado	1	Goma
8	Engranaje	1	EN W 6063 T-5
7	Articulación 2	1	EN W 6063 T-5
6	Articulación 1	1	EN W 6063 T-5
5	Muelle a torsión	1	Acero
4	Plato del trinquete	1	EN W 6063 T-5
3	Trinquete	1	EN W 6063 T-5
2	Cubierta	1	EN W 6063 T-5
1	Base de la palanca	1	EN W 6063 T-5
Marca	Denominación	Nº Piezas	Material



Universidad Pública de
Navarra
Nafarroako Unibertsitate
Publikoa

E.T.S.I.I.T.

DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E ING. RURAL

TOLERANCIAS SEGÚN
NORMA ISO 2762-M

MATERIAL:
-

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS
CON PALANCAS DE PROPULSIÓN

REALIZADO POR:

TORÁN HUARTE,
IÑAKI

FIRMA:

PLANO:

PALANCA DE PROPULSIÓN

FECHA:

5/11/2013

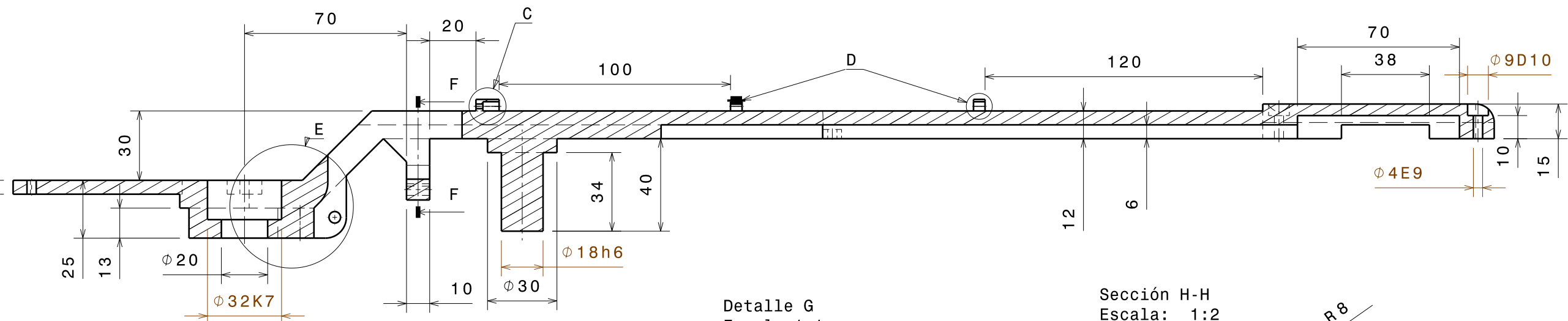
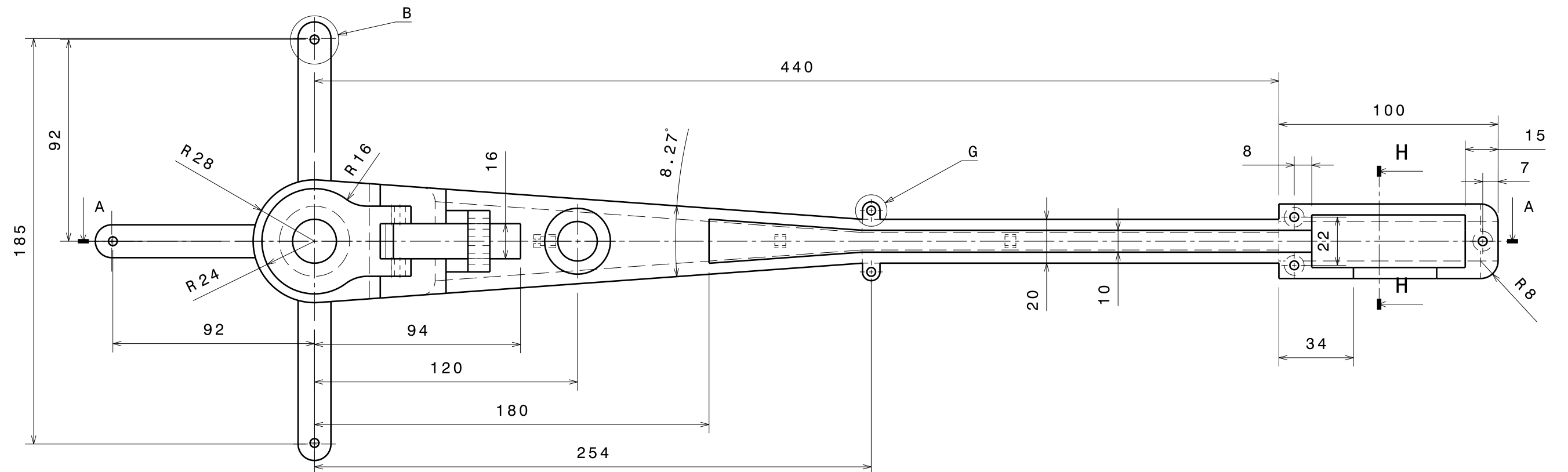
ESCALA:

1:3

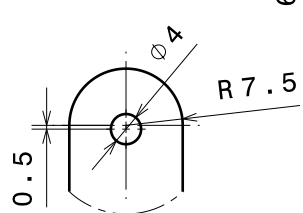
Nº PLANO:

9

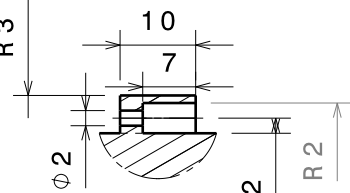
Escala 1:2



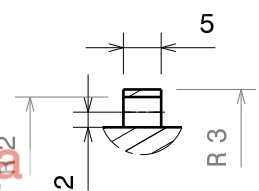
Detalle B
Escala: 1:1



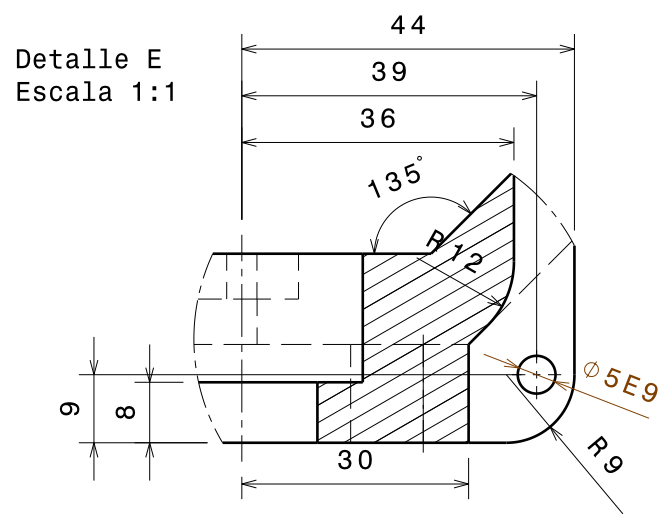
Detalle C
Escala 1:1



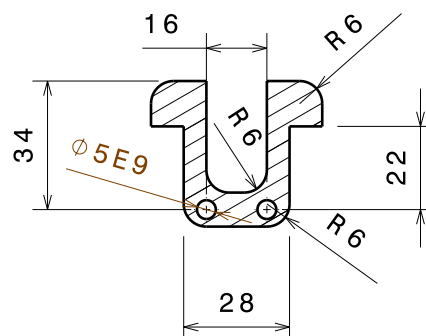
Detalle D
Escala 1:1



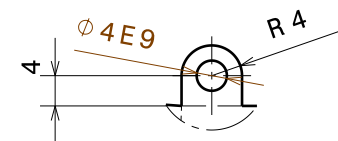
Detalle E
Escala 1:1



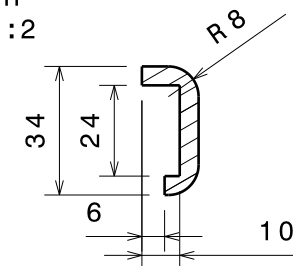
Sección F-F
Escala 1:2




Detalle G
Escala 1:1
Anchura: 4mm

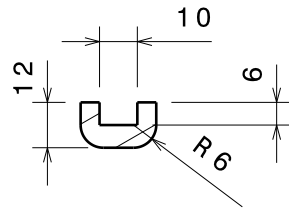


Sección H-H
Escala: 1:2

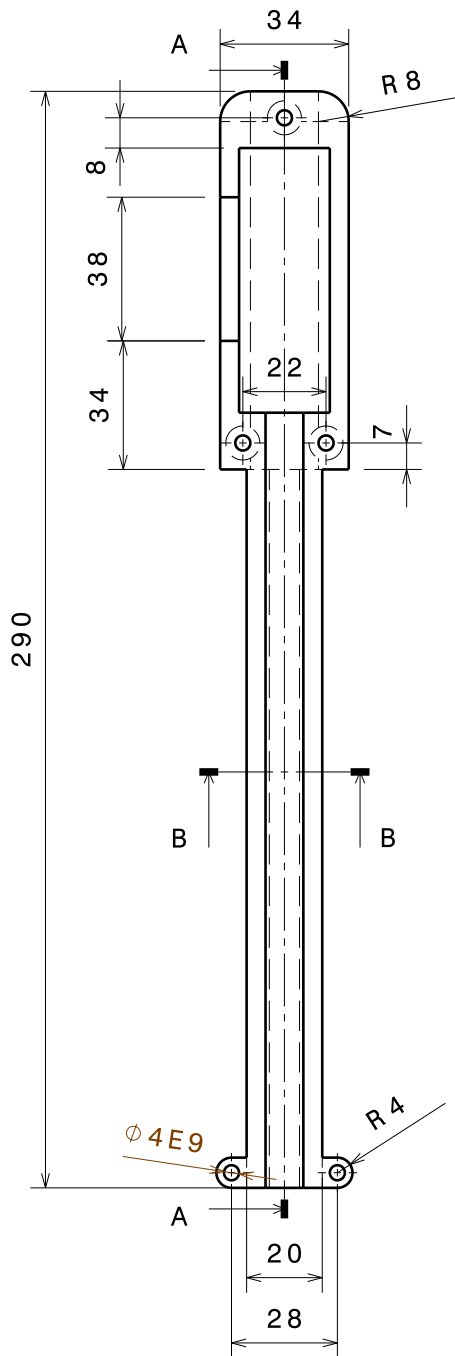
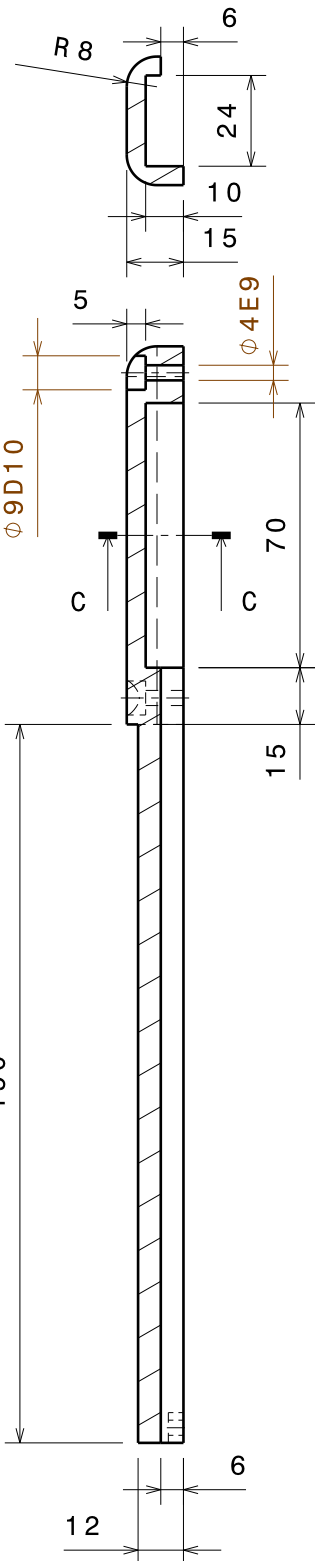


	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL	MATERIAL: EN W 6063 T-5	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI		FIRMA:
PLANO: BASE DE LA PALANCA		FECHA: 5/11/2013	ESCALA: 1:2 1:1	Nº PLANO: 10

Sección B-B
Escala: 1:2



Sección C-C
Escala: 1:2



Universidad Pública de
Navarra
Nafarroako Unibertsitate
Publikoa

E.T.S.I.I.T.

DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E ING. RURAL

TOLERANCIAS SEGÚN
NORMA ISO 2762-M

MATERIAL:
EN W 6063 T-5

PROYECTO:

**DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS
CON PALANCAS DE PROPULSIÓN**

REALIZADO POR:

**TORÁN HUARTE,
IÑAKI**

FIRMA:

PLANO:

CUBIERTA

FECHA:

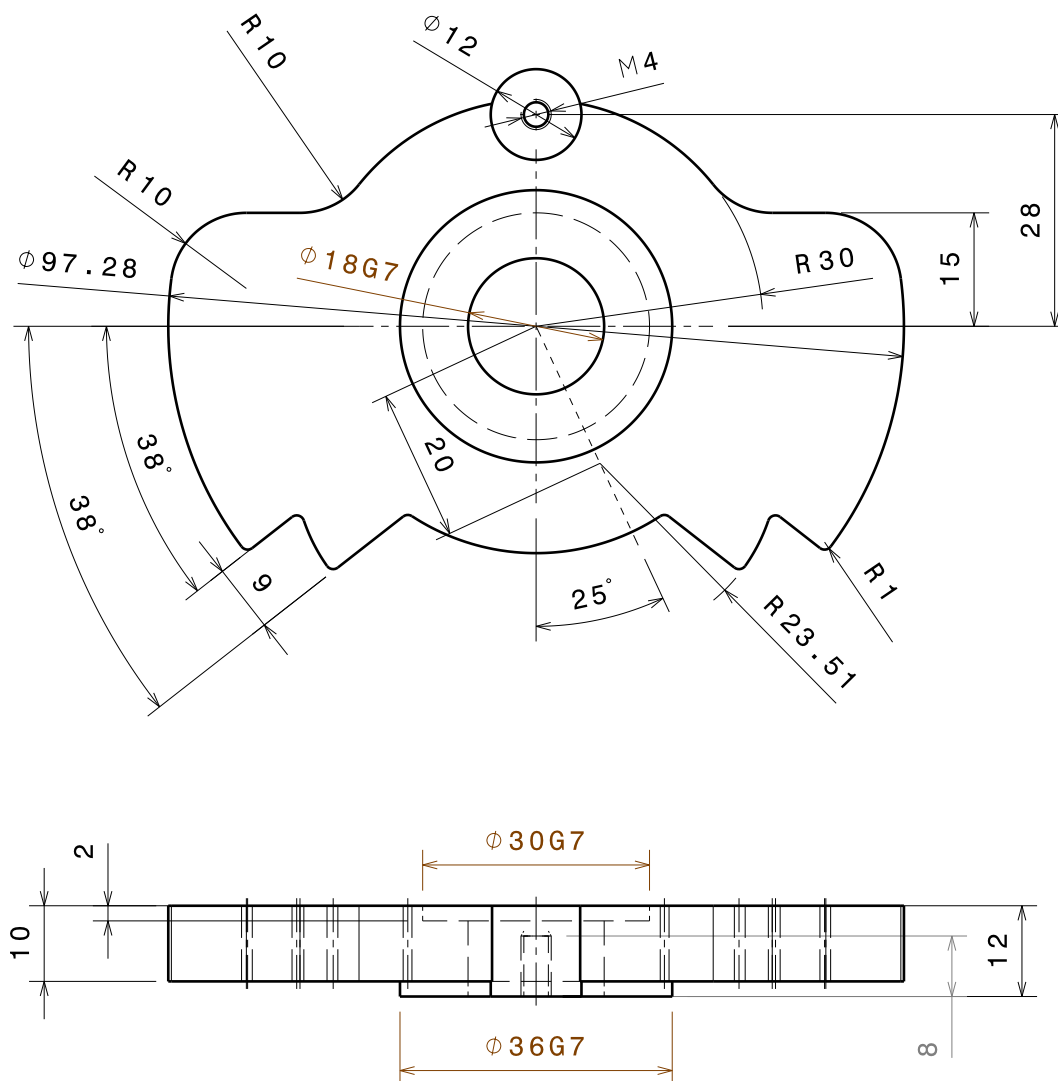
5/11/2013

ESCALA:

1:2

Nº PLANO:

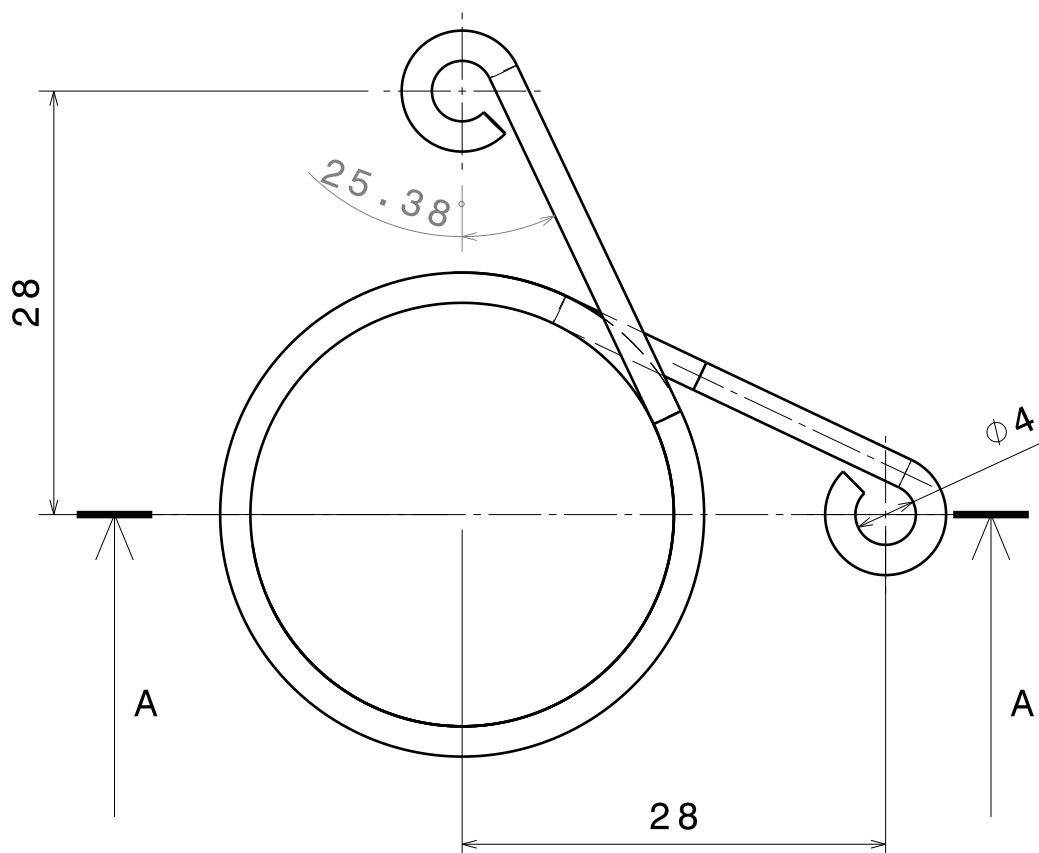
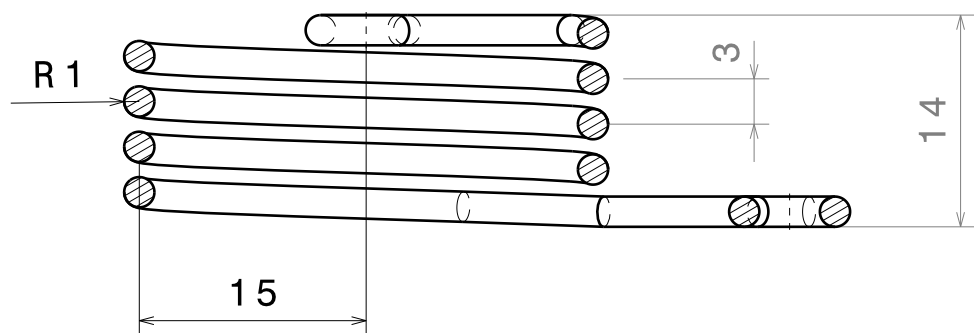
11



	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL		MATERIAL: EN W 6063 T-5	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI		FIRMA:	
PLANO: TRINQUETE		FECHA: 5/11/2013	ESCALA: 1:1	Nº PLANO: 12	



13



Universidad Pública de
Navarra
Nafarroako Unibertsitate
Publikoa

E.T.S.I.I.T.

DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E ING. RURAL

TOLERANCIAS SEGÚN
NORMA ISO 2762-M

MATERIAL:
ACERO

PROYECTO:

**DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS
CON PALANCAS DE PROPULSIÓN**

REALIZADO POR:

**TORÁN HUARTE,
IÑAKI**

FIRMA:

PLANO:

MUELLE DE TORSIÓN DEL TRINQUETE

FECHA:

5/11/2013

ESCALA:

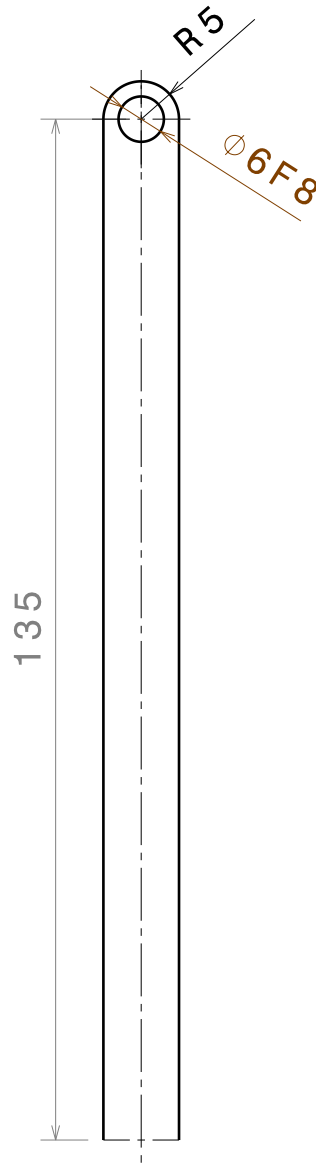
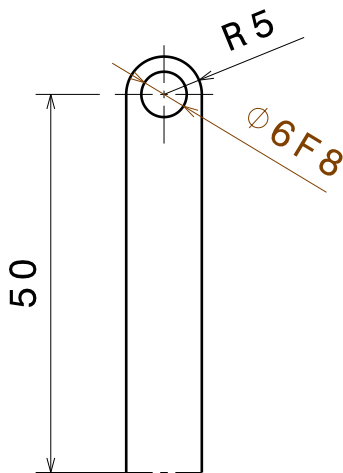
2:1

Nº PLANO:

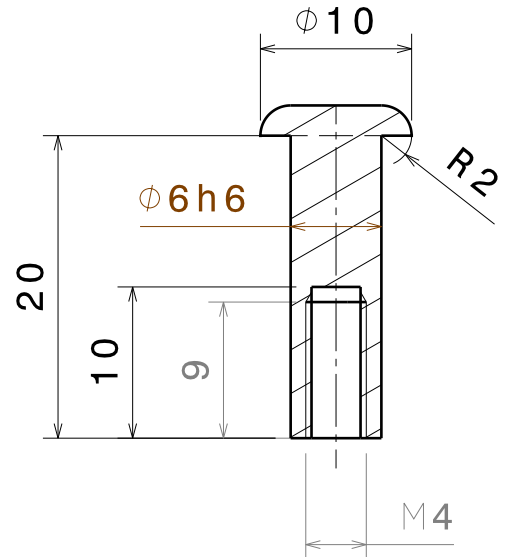
14


Marca 7
Articulación 2
Material
EN W 6063 T-5
Escala:1:1
e= 4mm

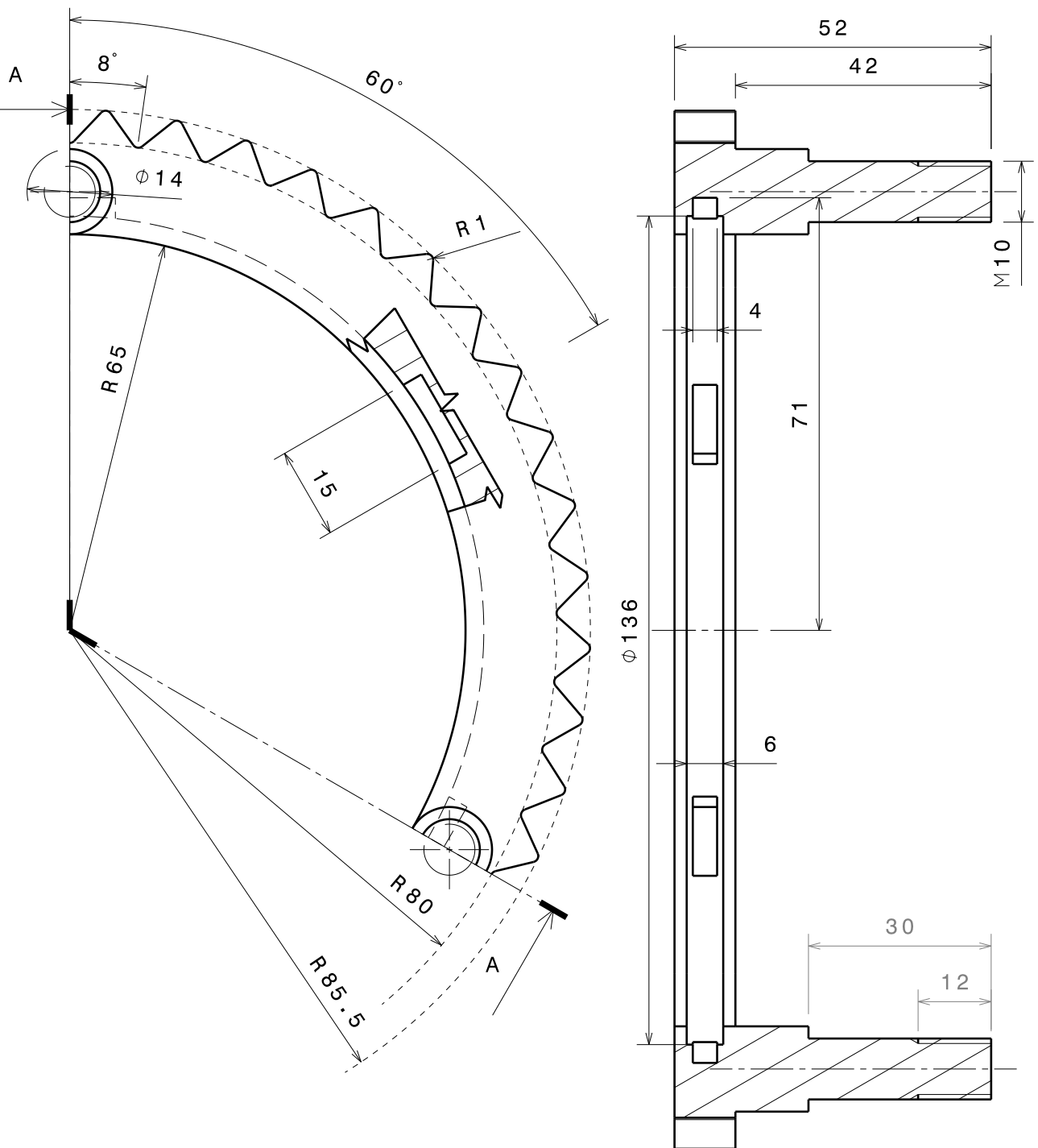
Marca 6
Articulación 1
Material:
EN W 6063 T-5
Escala:1:1
e= 4mm




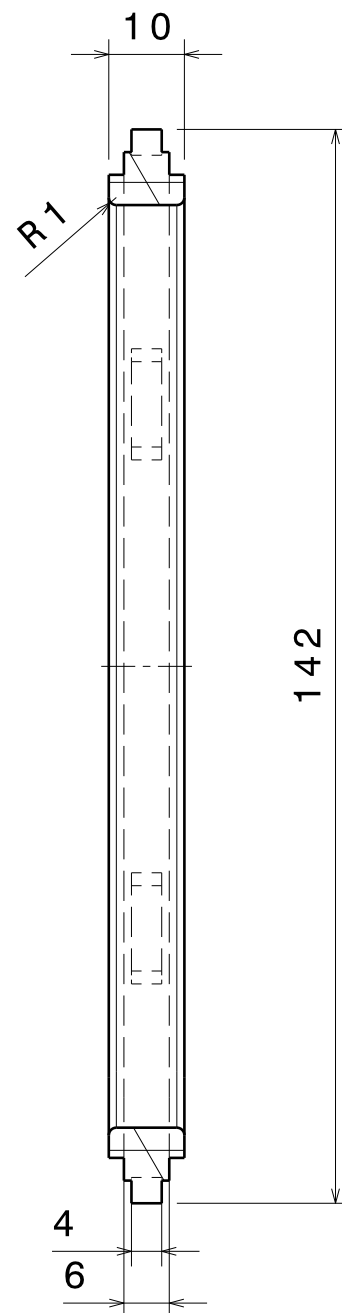
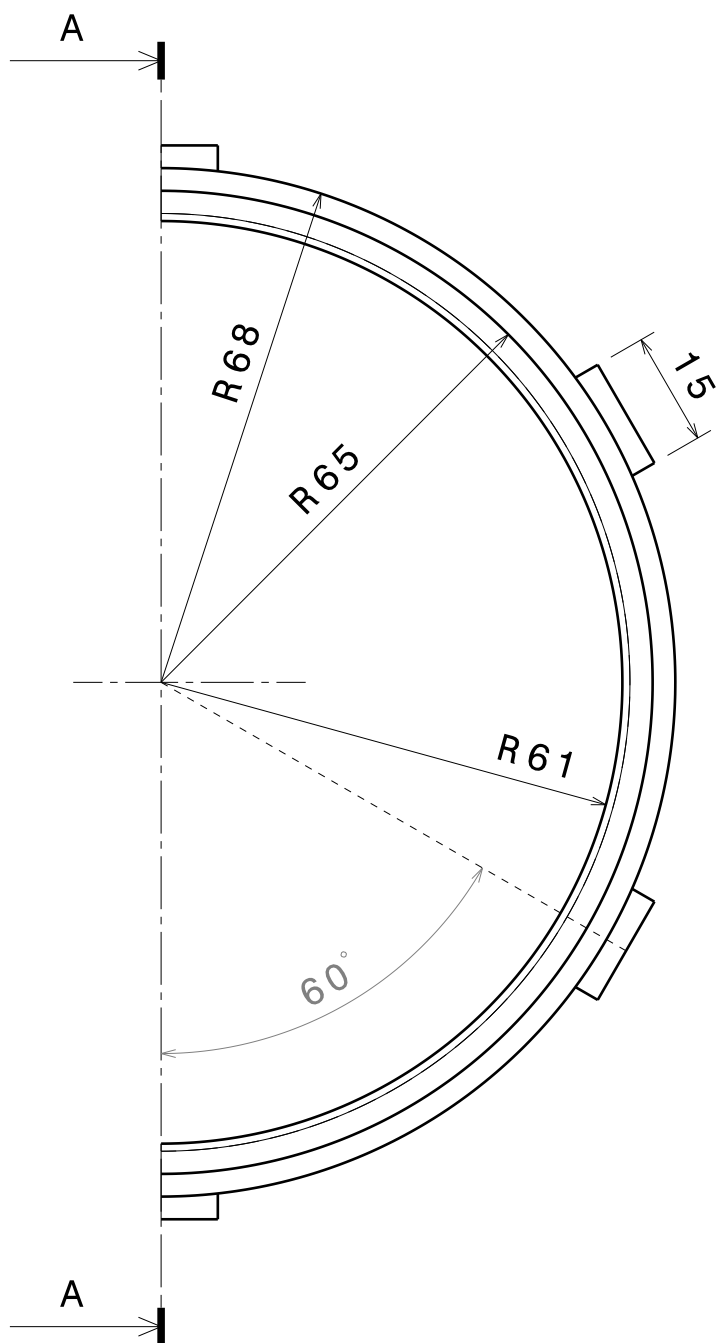
Marca 27
Pasador con roscado interior
Material:
Acero
Escala:2:1




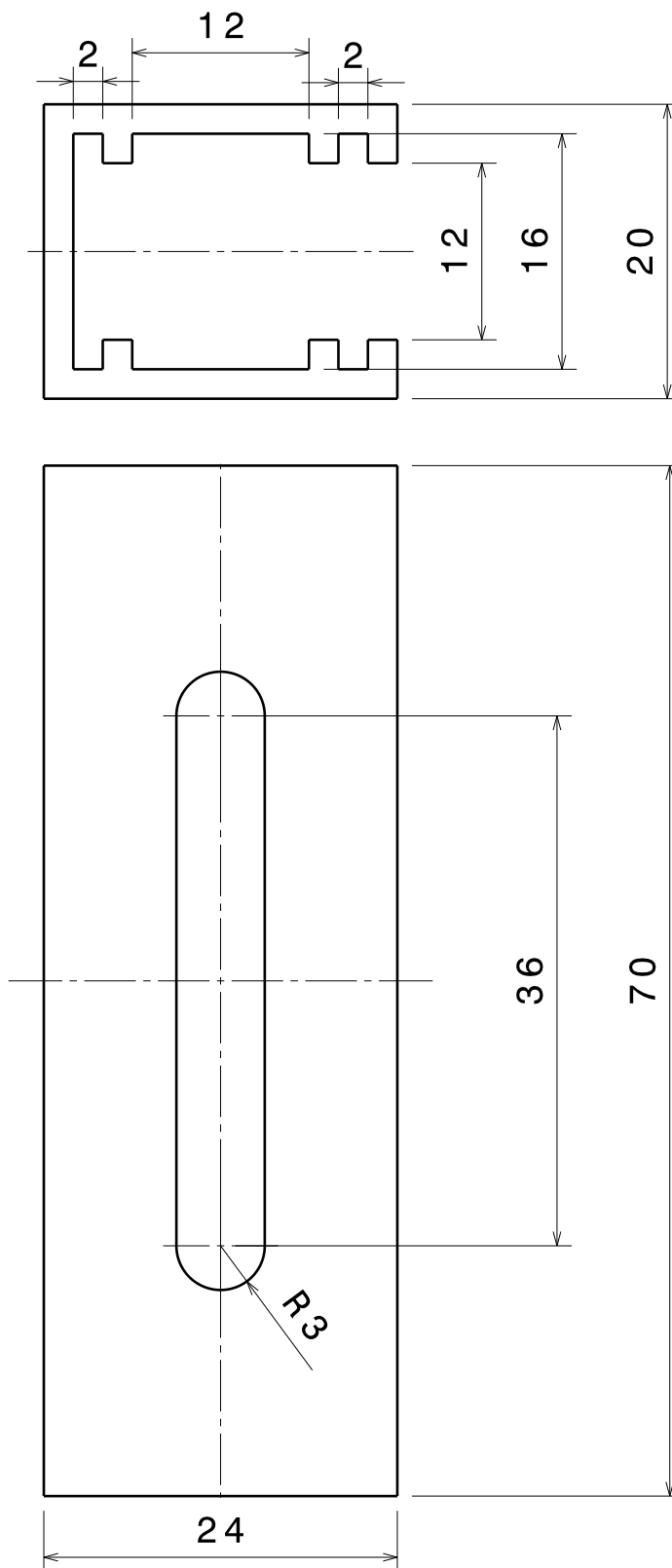
	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL	MATERIAL: -	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI		FIRMA:
PLANO: ARTICULACIONES Y PASADOR ROSCADO		FECHA: 5/11/2013	ESCALA: 1:1 2:1	Nº PLANO: 15




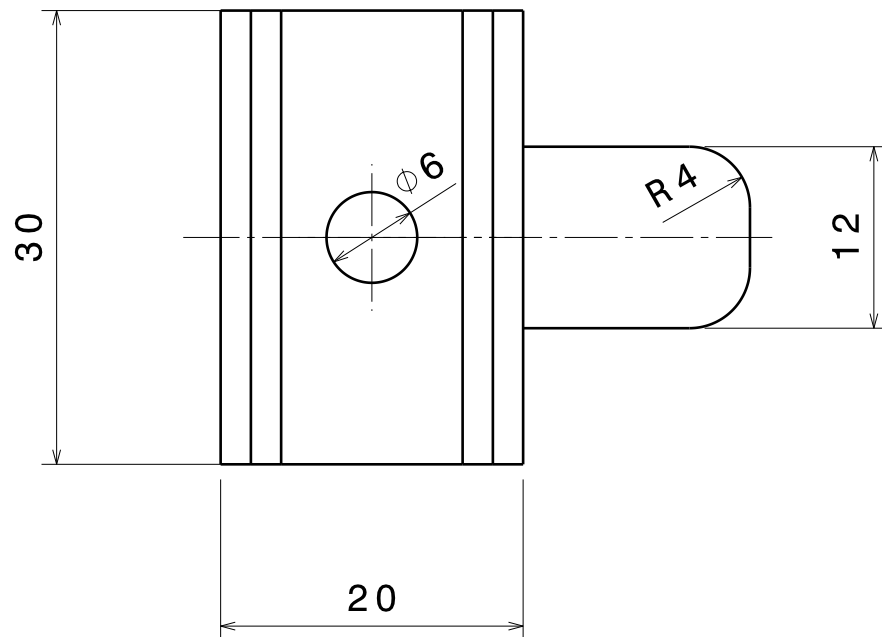
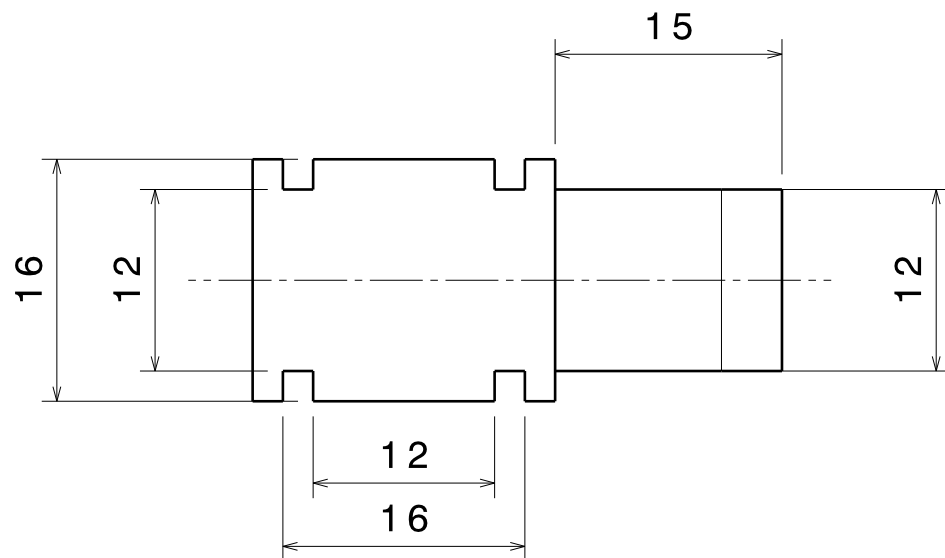
	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL	MATERIAL: EN W 6063 T-5	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI		FIRMA:
PLANO: ENGRANAJE		FECHA: 5/11/2013	ESCALA: 1:1	Nº PLANO: 16




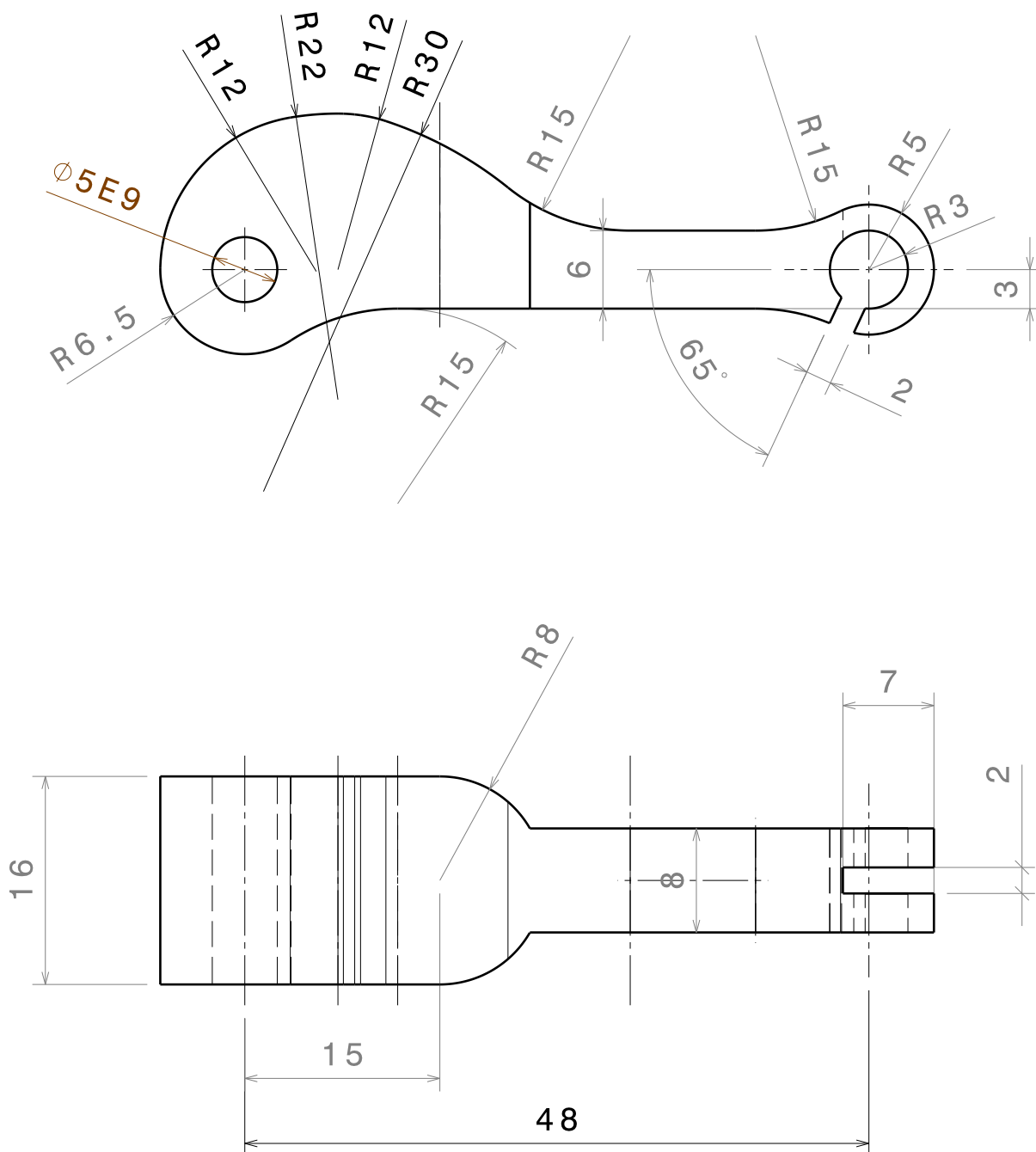
	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL	MATERIAL: GOMA	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI		FIRMA:
PLANO: SUPERFICIE DE FRENADO		FECHA: 5/11/2013	ESCALA: 1:1	Nº PLANO: 17




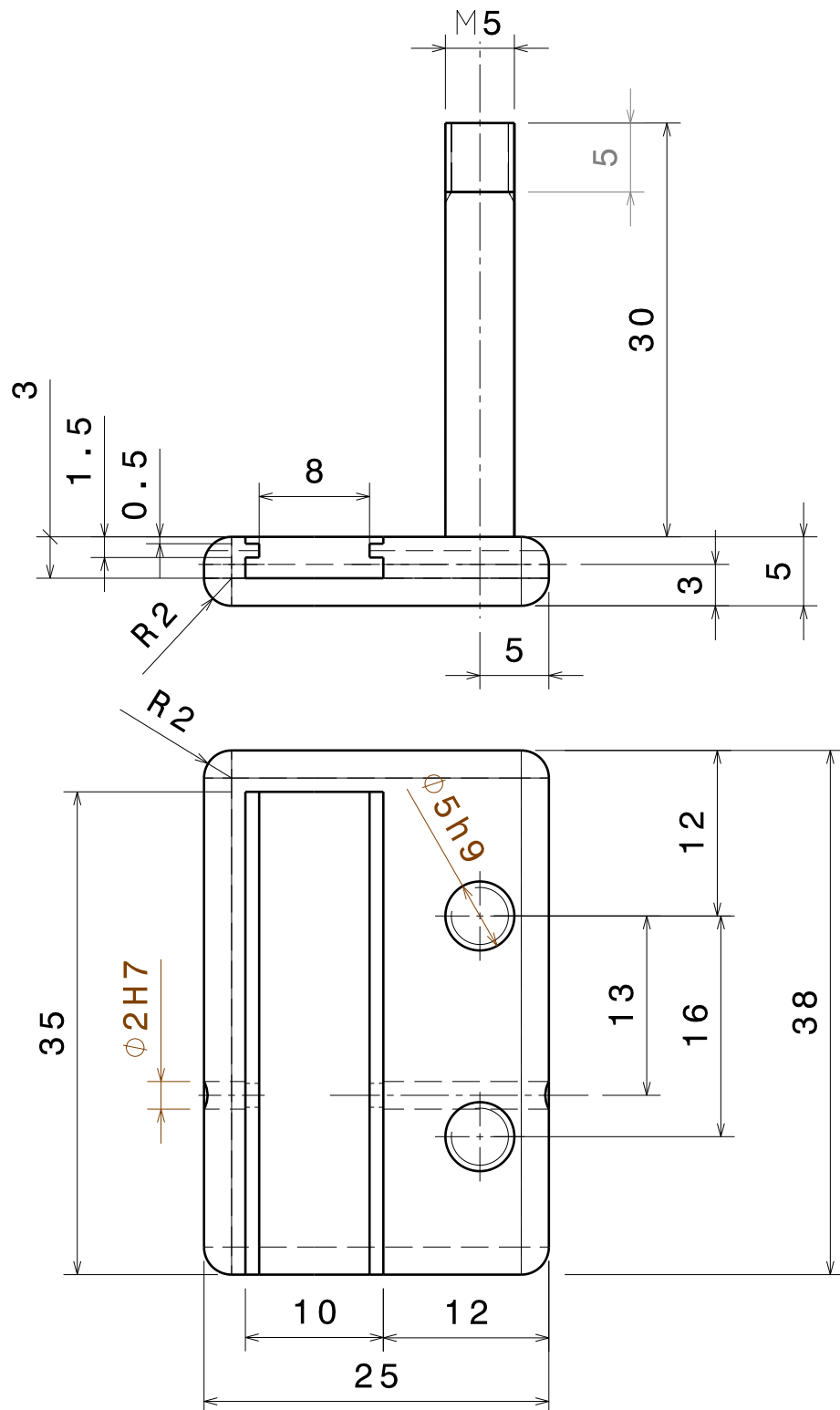
	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa		E.T.S.I.I.T.		TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
			DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL		MATERIAL: NYLON	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN			REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI		FIRMA:	
PLANO: GUÍA DEL INTERRUPTOR			FECHA: 5/11/2013		ESCALA: 2:1	
					Nº PLANO: 18	




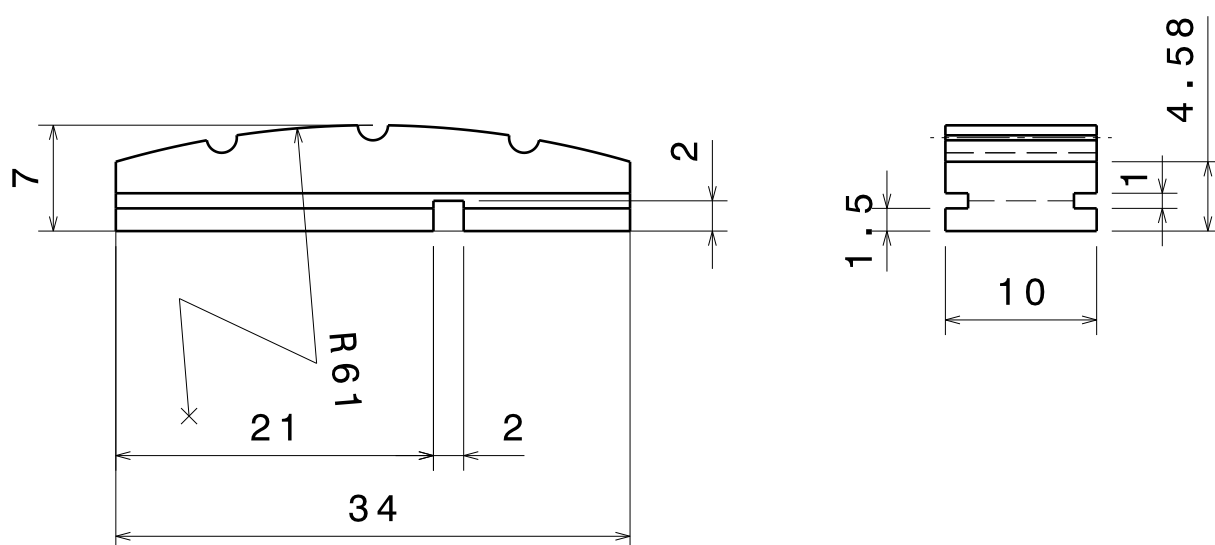
	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa		E.T.S.I.I.T.		TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
			DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL		MATERIAL: NYLON	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN			REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI		FIRMA:	
PLANO: INTERRUPTOR			FECHA: 5/11/2013		ESCALA: 2:1	
					Nº PLANO: 19	




	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL		MATERIAL: EN W 6063 T-5	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI		FIRMA:	
PLANO: LEVA		FECHA: 5/11/2013	ESCALA: 2:1	Nº PLANO: 20	

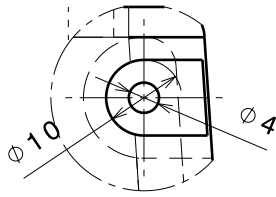


	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL	MATERIAL: EN W 6063 T-5	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI		FIRMA:
PLANO: SEGUIDOR		FECHA: 5/11/2013	ESCALA: 2:1	Nº PLANO: 21

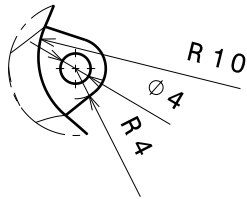


	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL	MATERIAL: CAUCHO	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI		FIRMA:
PLANO: ZAPATA		FECHA: 5/11/2013	ESCALA: 2:1	Nº PLANO: 22

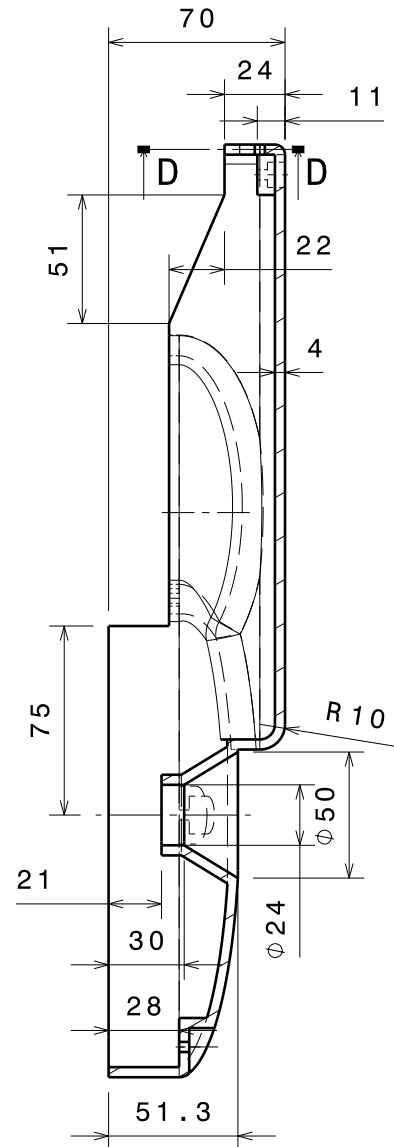
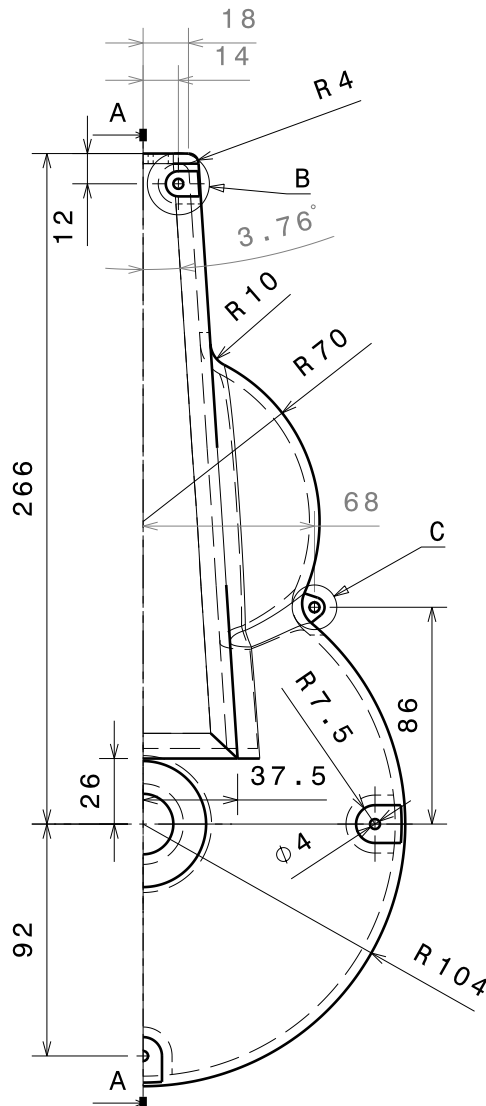
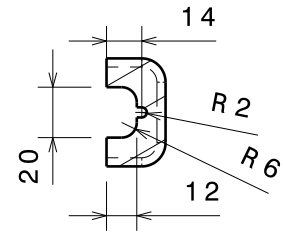
Detalle B
Escala 1:1



Detalle C
Escala 1:1



Sección D-D
Escala: 1:3



Universidad Pública de
Navarra
Nafarroako Unibertsitate
Publikoa

E.T.S.I.I.T.

DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E ING. RURAL

TOLERANCIAS SEGÚN
NORMA ISO 2762-M

MATERIAL:
NYLON

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS
CON PALANCAS DE PROPULSIÓN

REALIZADO POR:

TORÁN HUARTE,
IÑAKI

FIRMA:

PLANO:

CARCASA EXTERIOR

FECHA:

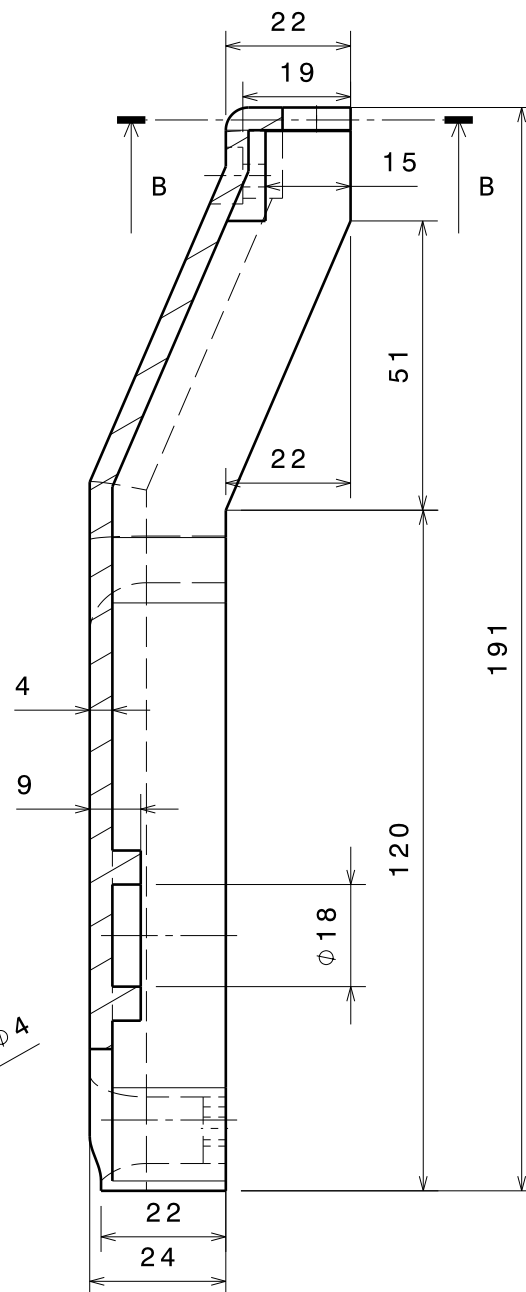
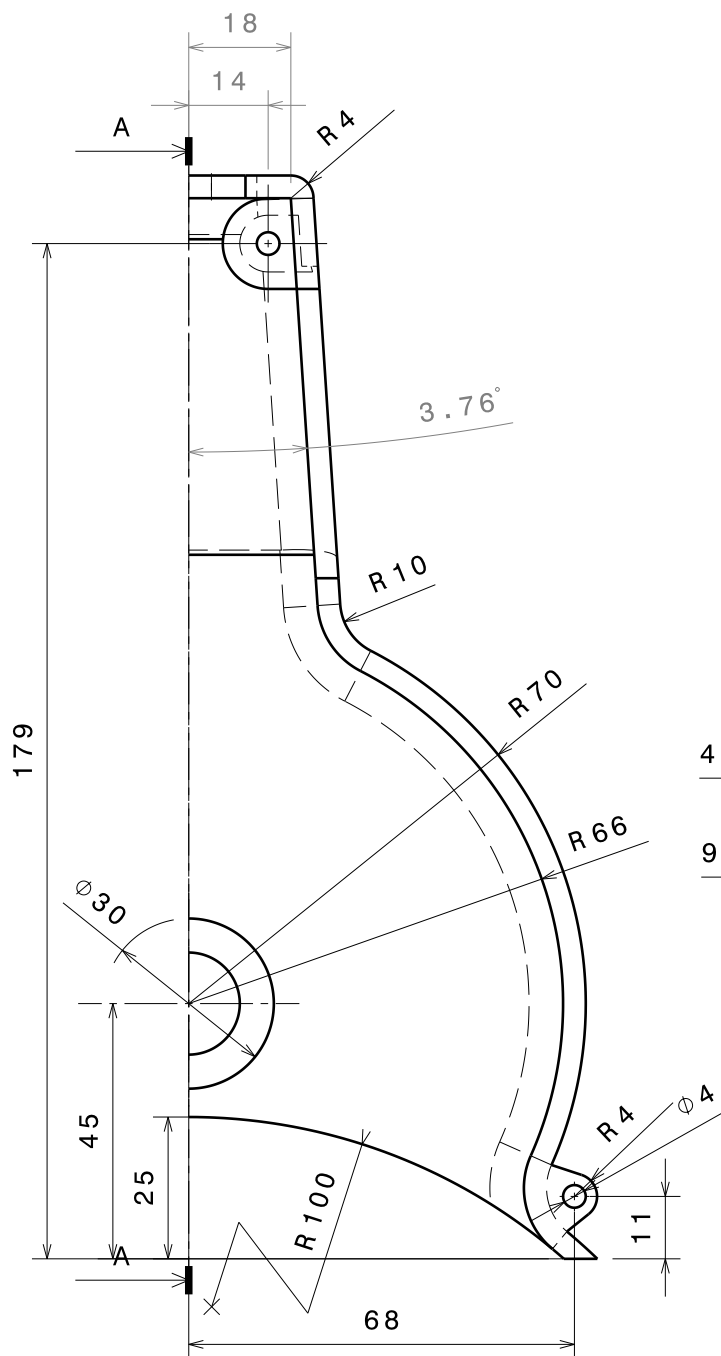
5/11/2013

ESCALA:

1:3

Nº PLANO:

23



E.T.S.I.I.T.

DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E ING. RURAL

MATERIAL:
NYLON

DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN

TORÁN HUARTE,
IÑAKI

FIRMA:

CARCASA INTERIOR

FECHA:

5/11/2013

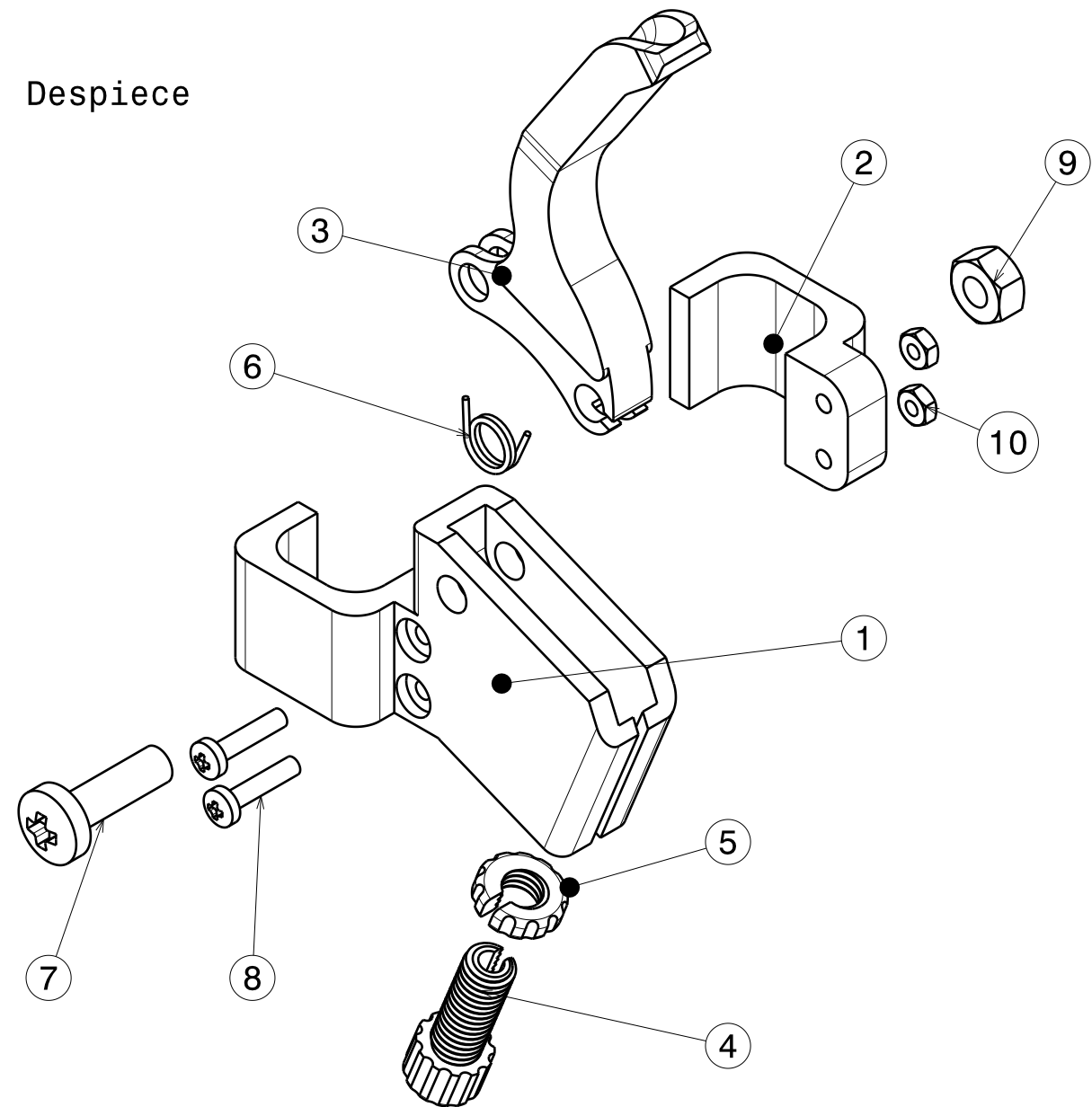
ESCALA:

3:4

Nº PLANO:

24

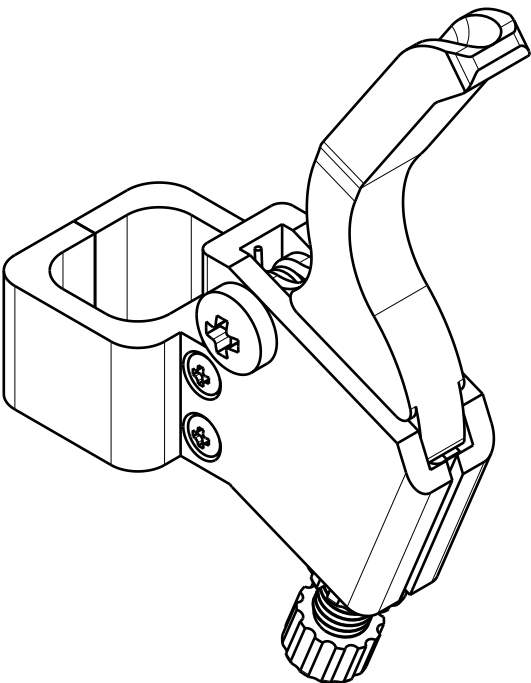
Despiece



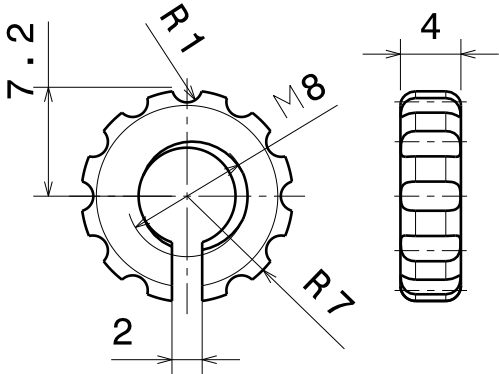
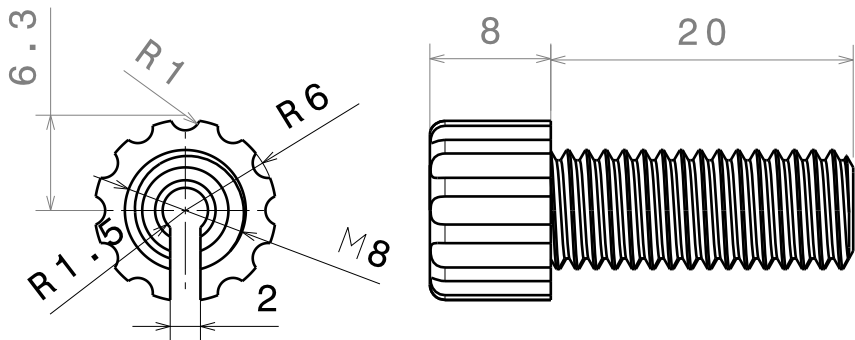
4
Escala: 2:1


5
Escala: 2:1

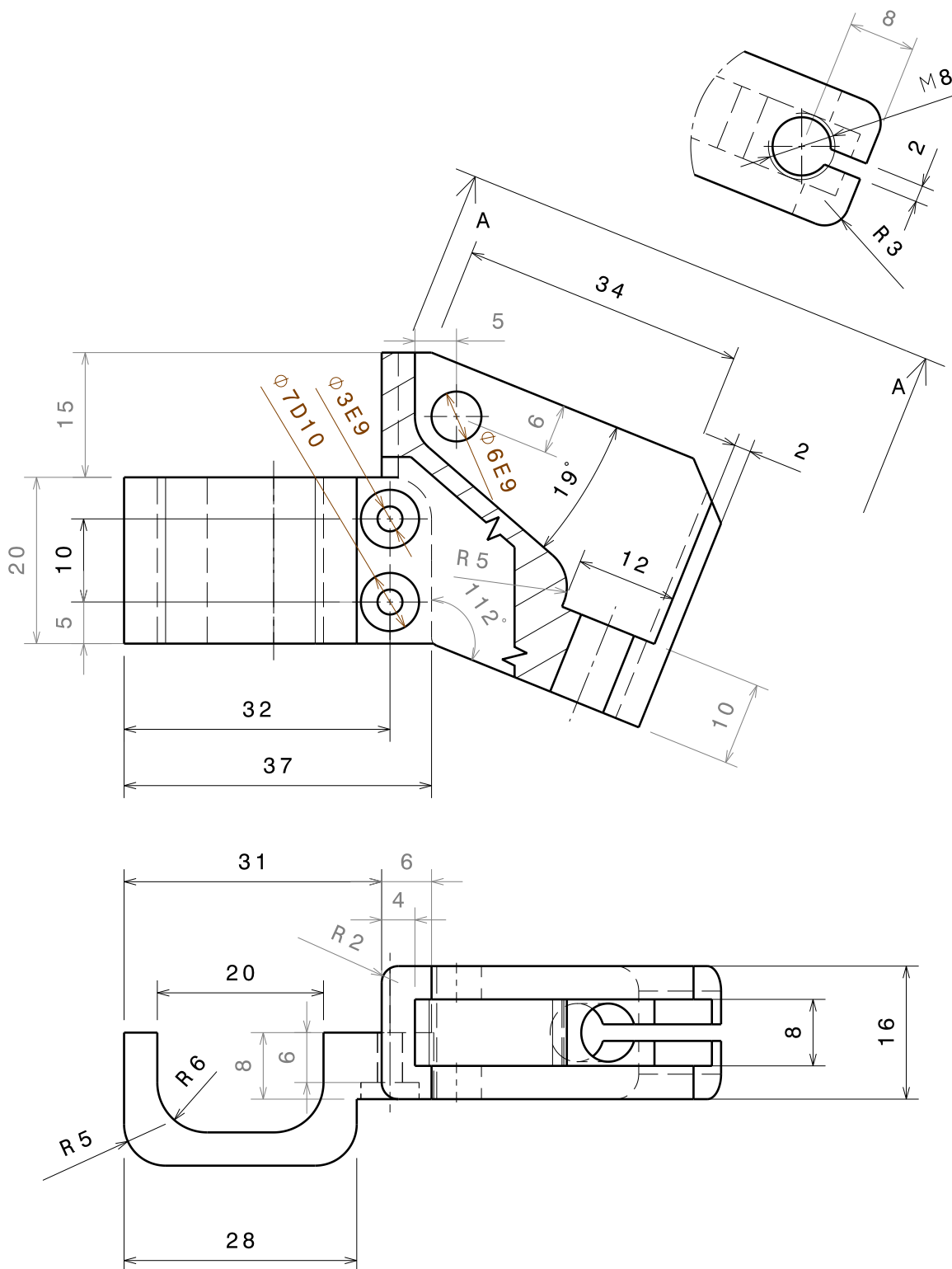
Vista isométrica




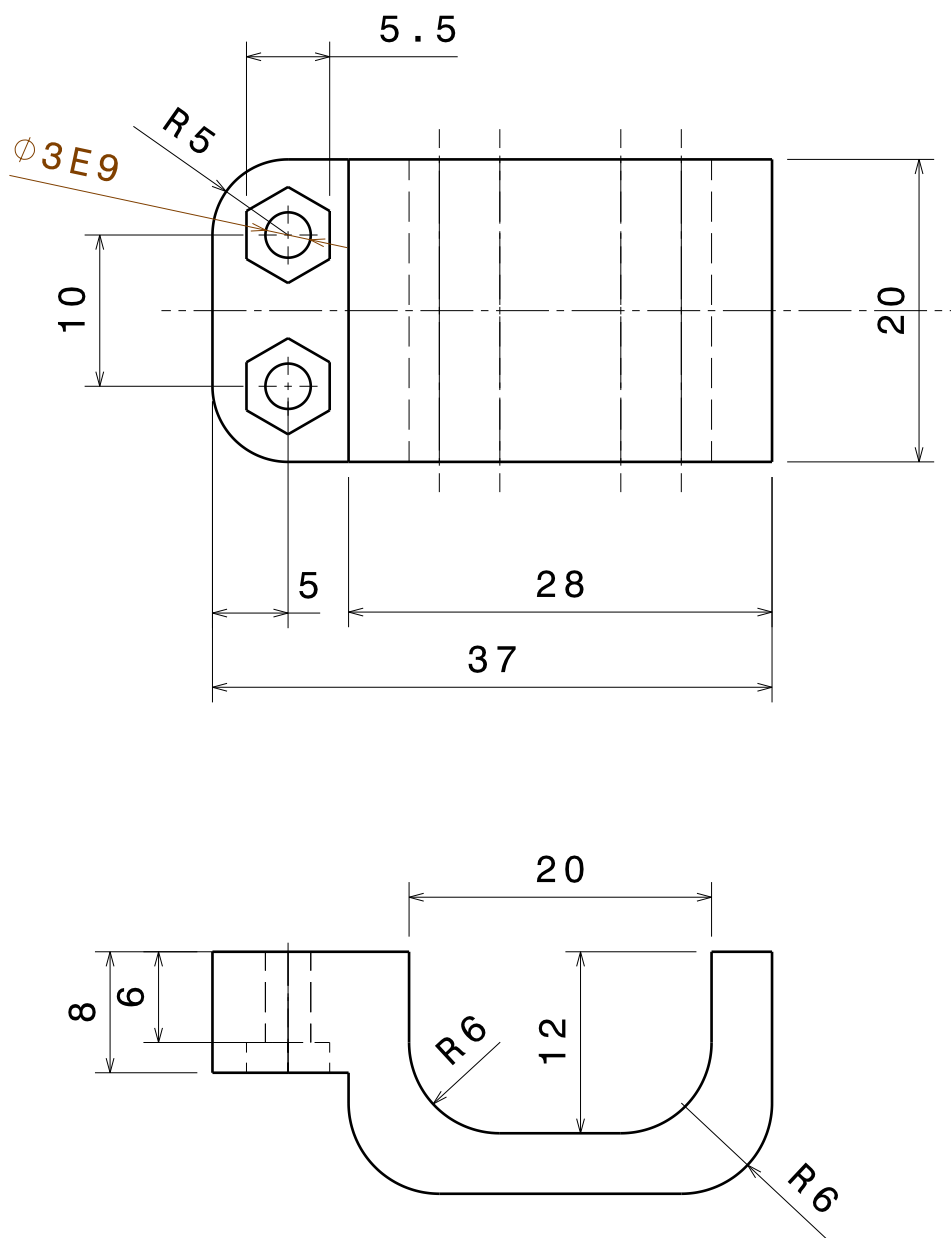
10	Tuerca ISO 4032 M3	2	-
9	Tuerca ISO 4032 M6	1	-
8	Tornillo ISO 7045 M3x14	2	-
7	Tornillo ISO 7045 M6x20	1	-
6	Muelle torsión T035-0950-187	1	-
5	Retención	1	Acero
4	Tensor	1	Acero
3	Maneta	1	EN W 6063 T-5
2	Soporte, parte 2	1	EN W 6063 T-5
1	Soporte, parte 1	1	EN W 6063 T-5
Marca	Denominación	Nº Piezas	Material



	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL		MATERIAL: -	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI			FIRMA:
PLANO: MANDO DEL FRENO		FECHA: 5/11/2013	ESCALA: 1:1 2:1	Nº PLANO: 25	

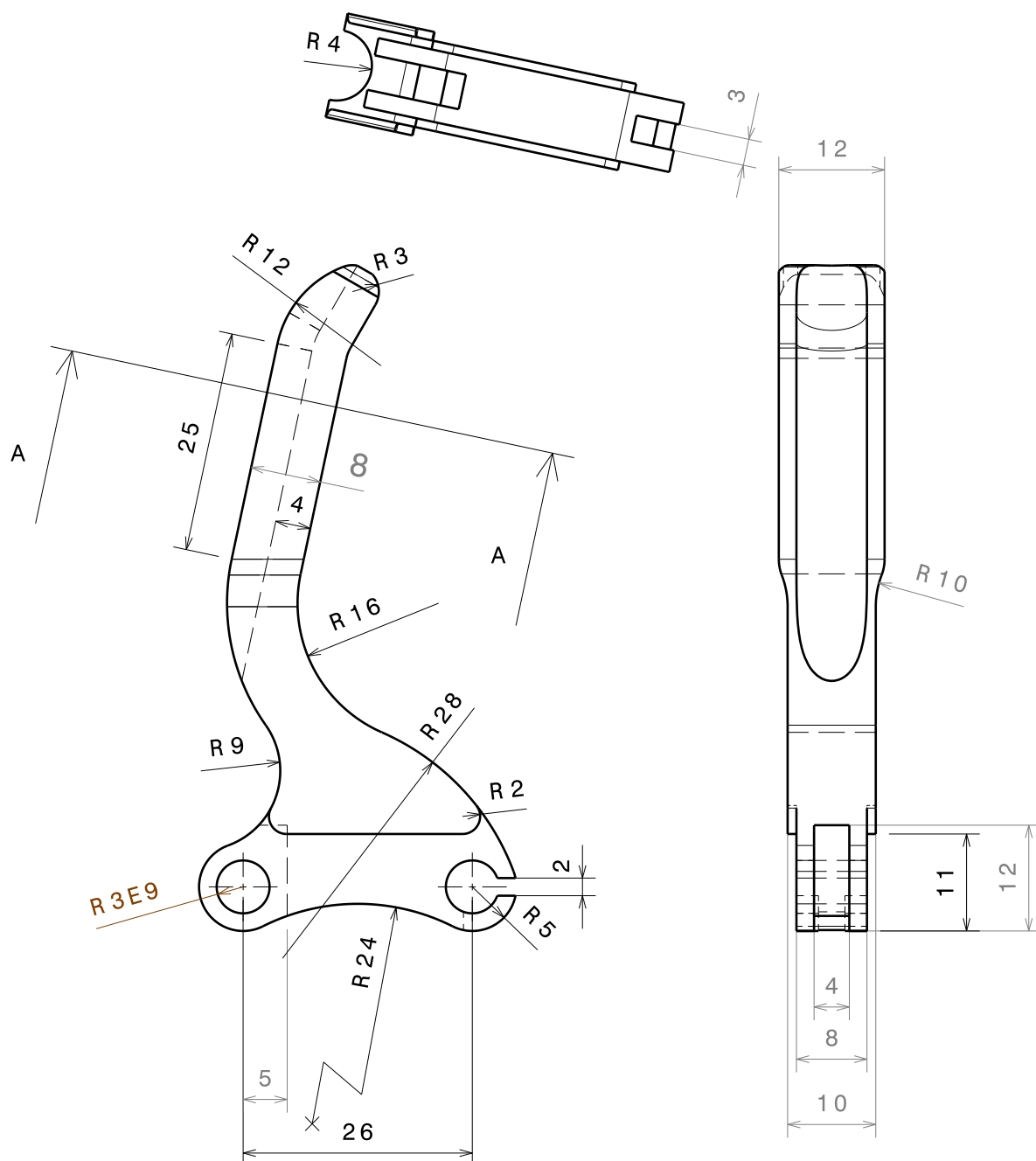



	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL	MATERIAL: EN W 6063 T-5	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI		FIRMA:
PLANO: SOPORTE DE LOS MANDOS DE FRENO, PARTE 1		FECHA: 5/11/2013	ESCALA: 4:3	Nº PLANO: 26



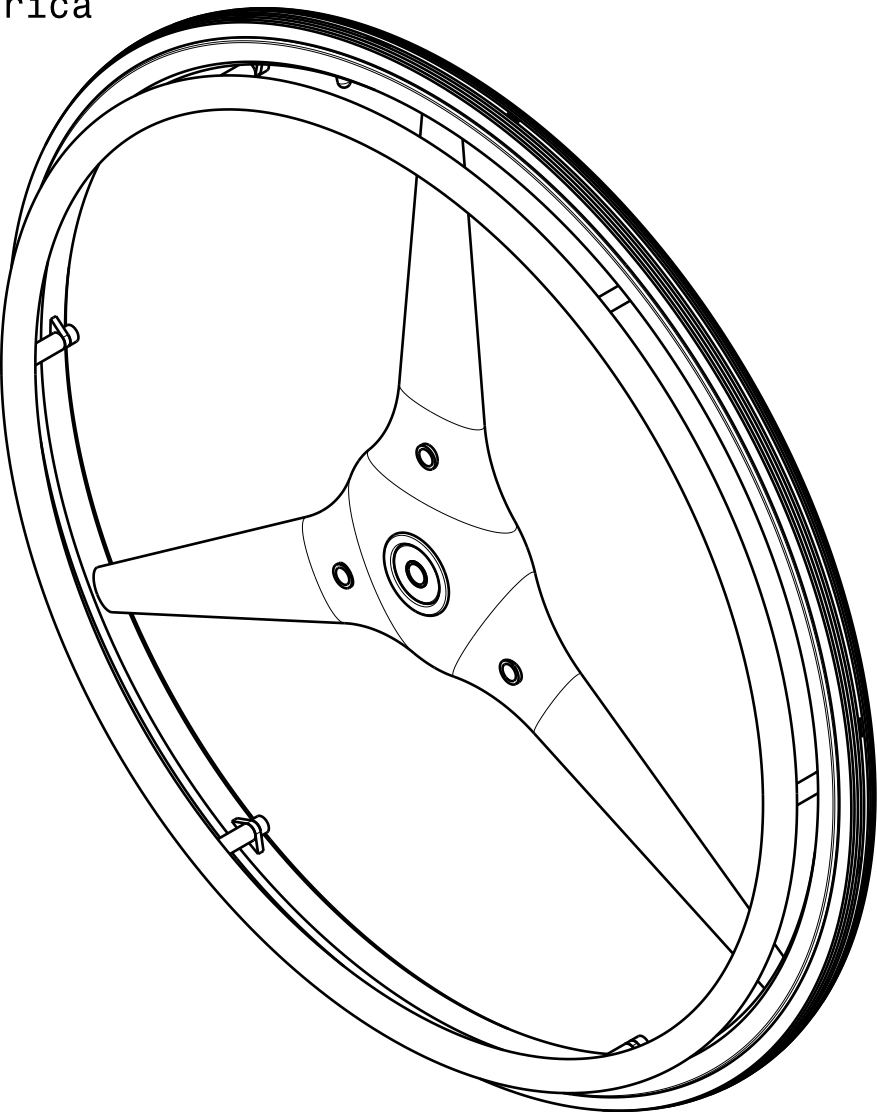
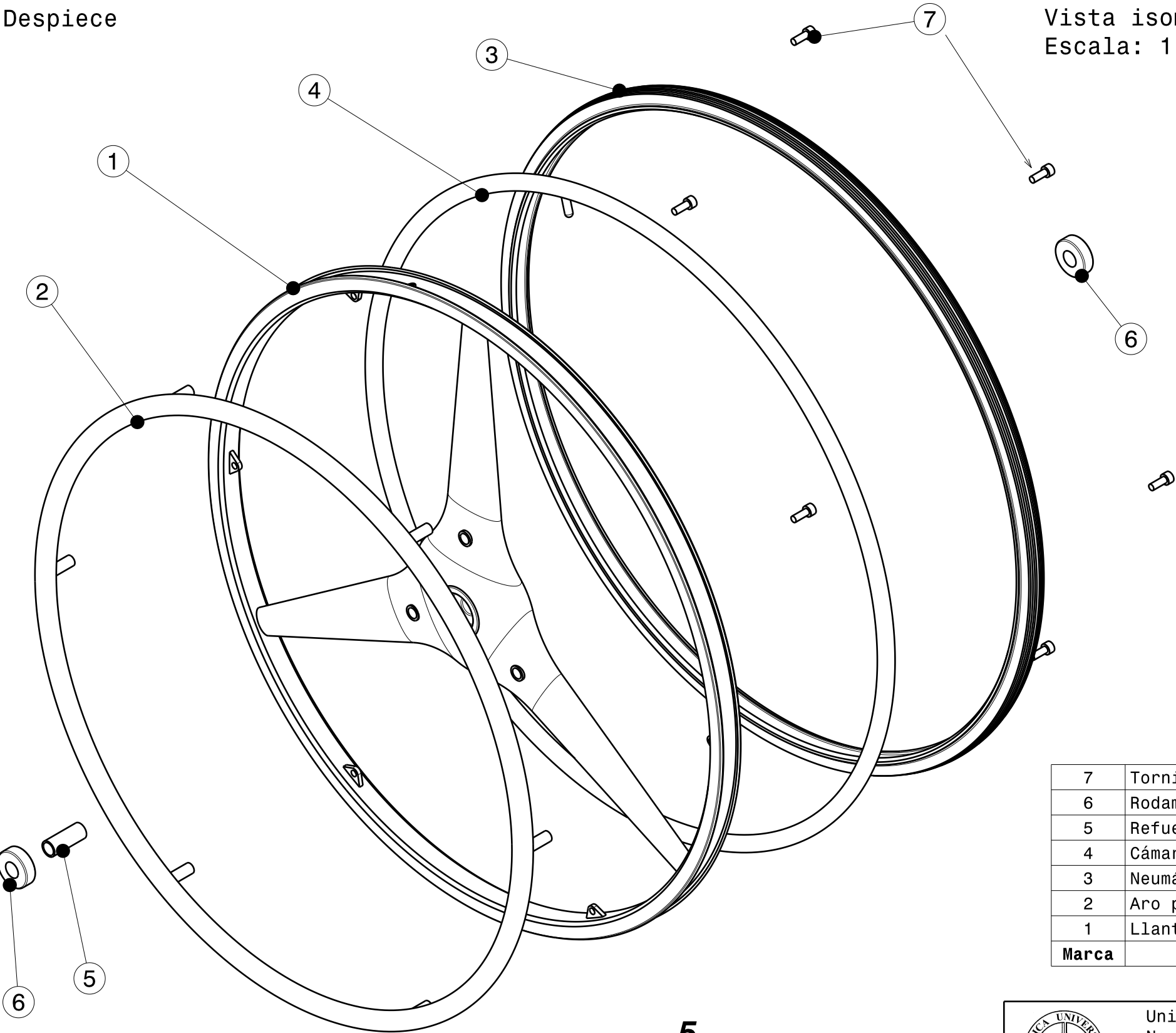
	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa		E.T.S.I.I.T.		TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
			DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL		MATERIAL: EN W 6063 T-5	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN			REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI		FIRMA:	
PLANO: SOPORTE DE LOS MANDOS DE FRENO, SEGUNDA PARTE			FECHA: 5/11/2013		ESCALA: 2:1	Nº PLANO: 27

Vista auxiliar A-A

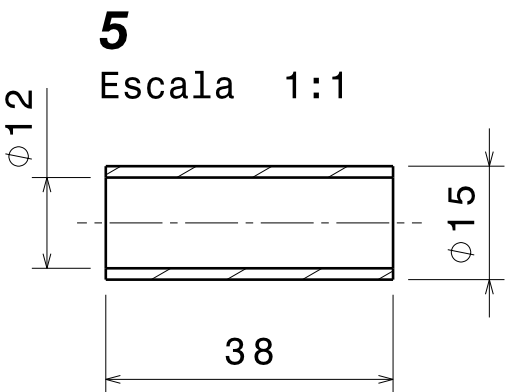



	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL	MATERIAL: EN W 6063 T-5	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI		FIRMA:
PLANO: MANETA DEL FRENO		FECHA: 5/11/2013	ESCALA: 4:3	Nº PLANO: 28

Despiece

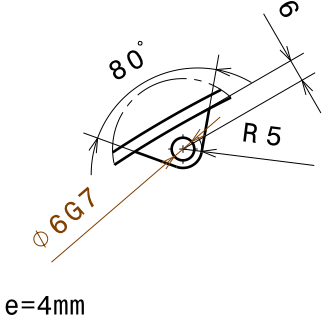


7	Tornillo Allen ISO 4762 M6x16	6	-
6	Rodamiento axial 6202 ZZ	2	-
5	Refuerzo del eje	1	Acero
4	Cámara de aire	1	Goma
3	Neumático	1	Caucho
2	Aro propulsor	1	EN W 6063 T-5
1	Llanta	1	EN W 6063 T-5
Marca	Denominación	Nº Piezas	Material

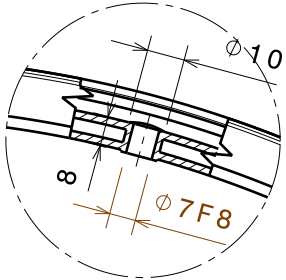


	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL		MATERIAL: -	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI			FIRMA:
PLANO: RUEDA TRASERA		FECHA: 5/11/2013	ESCALA: 1:4 1:1	Nº PLANO: 29	

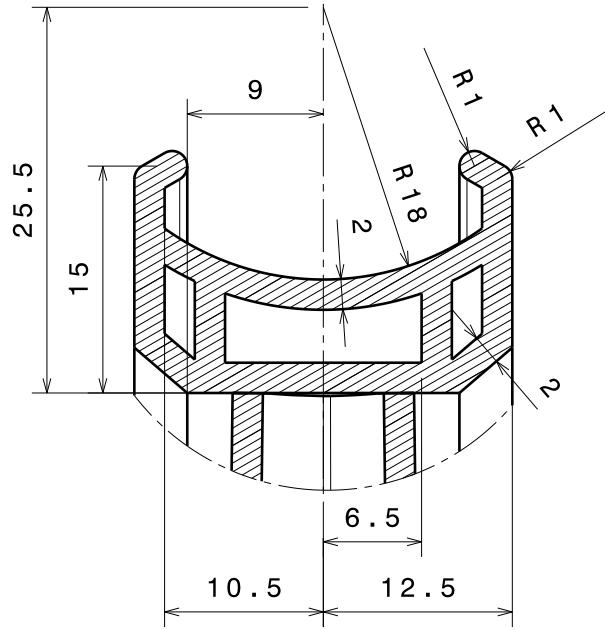
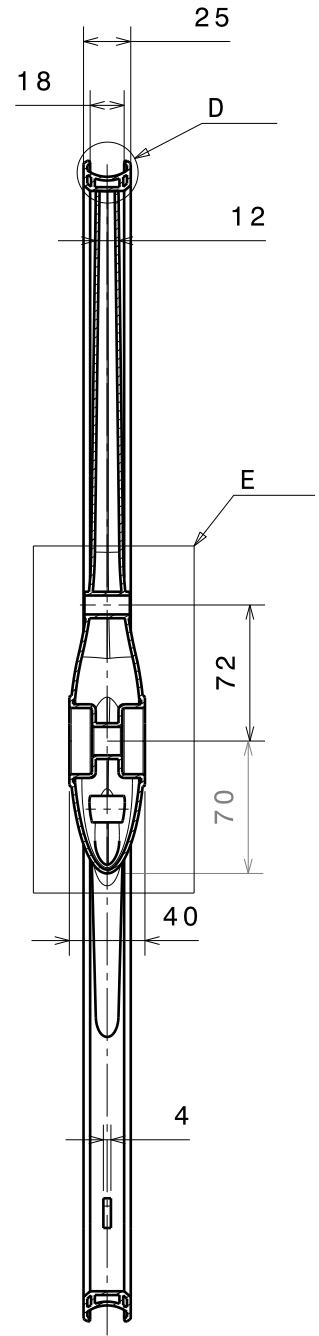
Detalle C
Escala: 1:2



Detalle B
Escala: 1:2

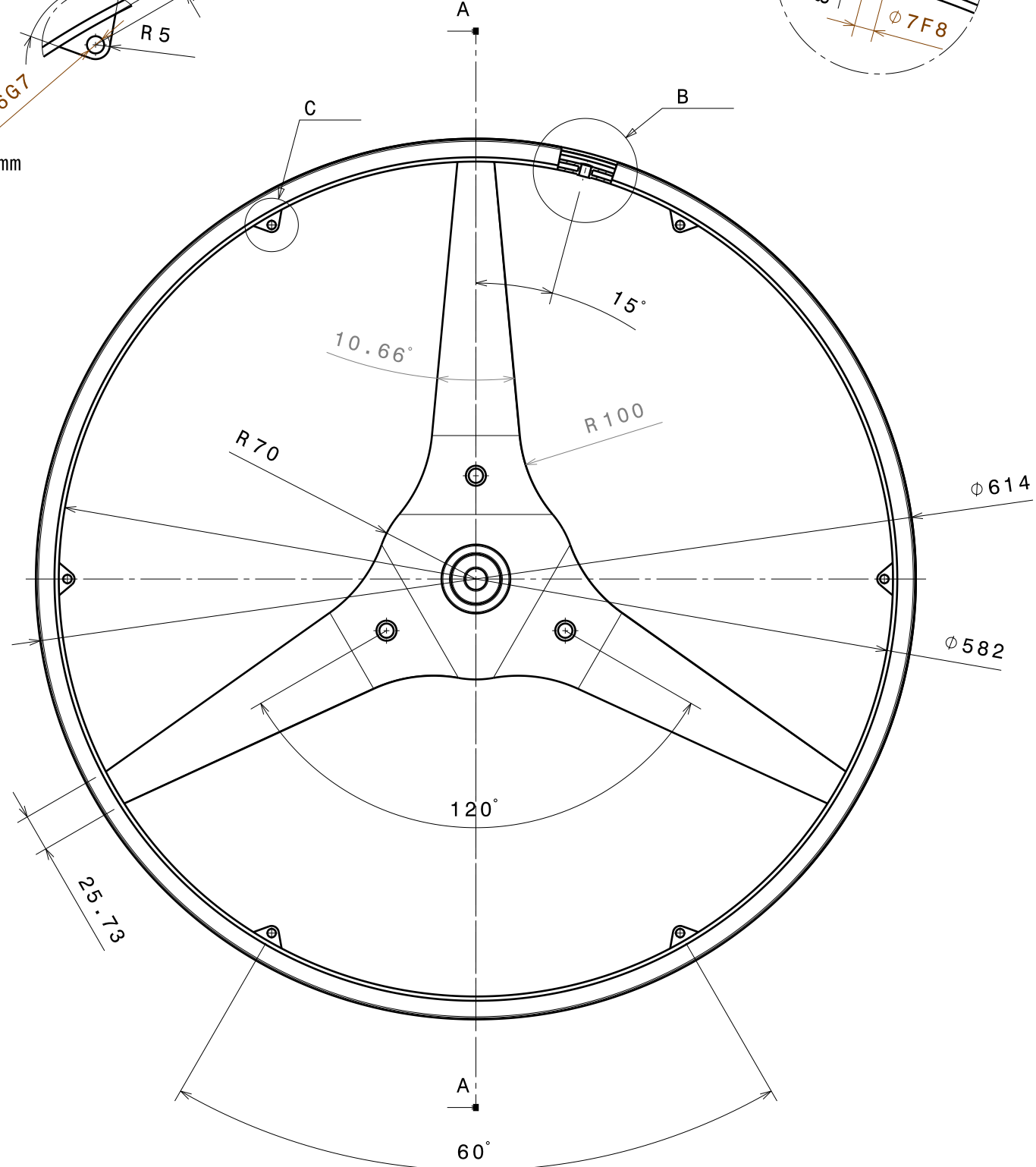
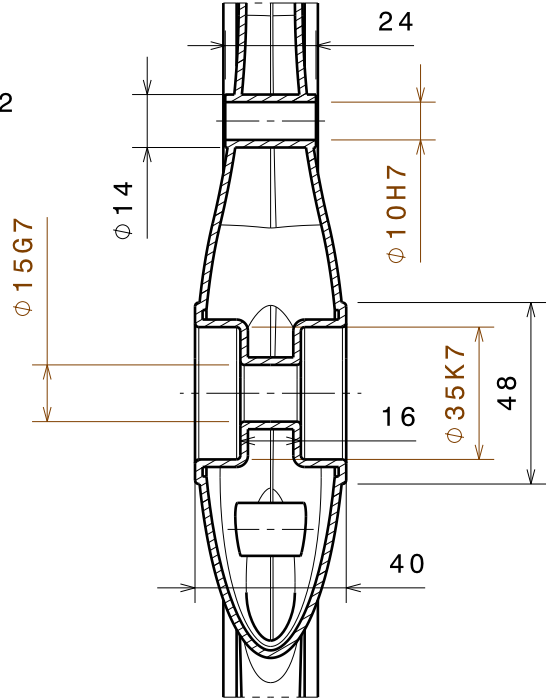


Detalle D
Escala: 2:1



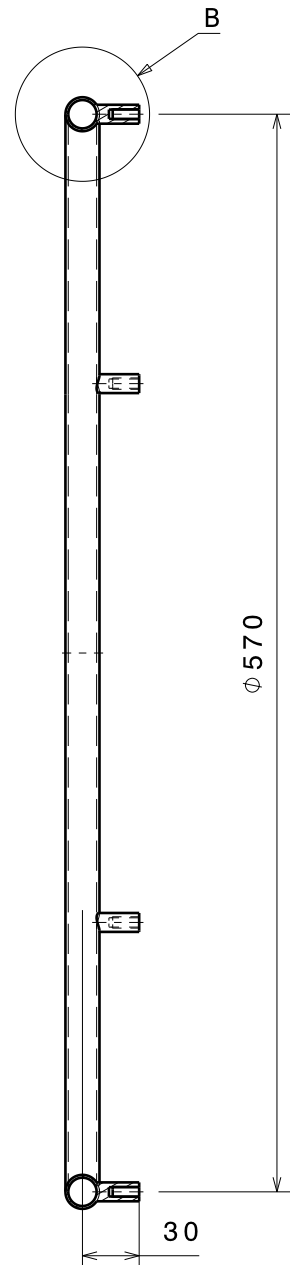
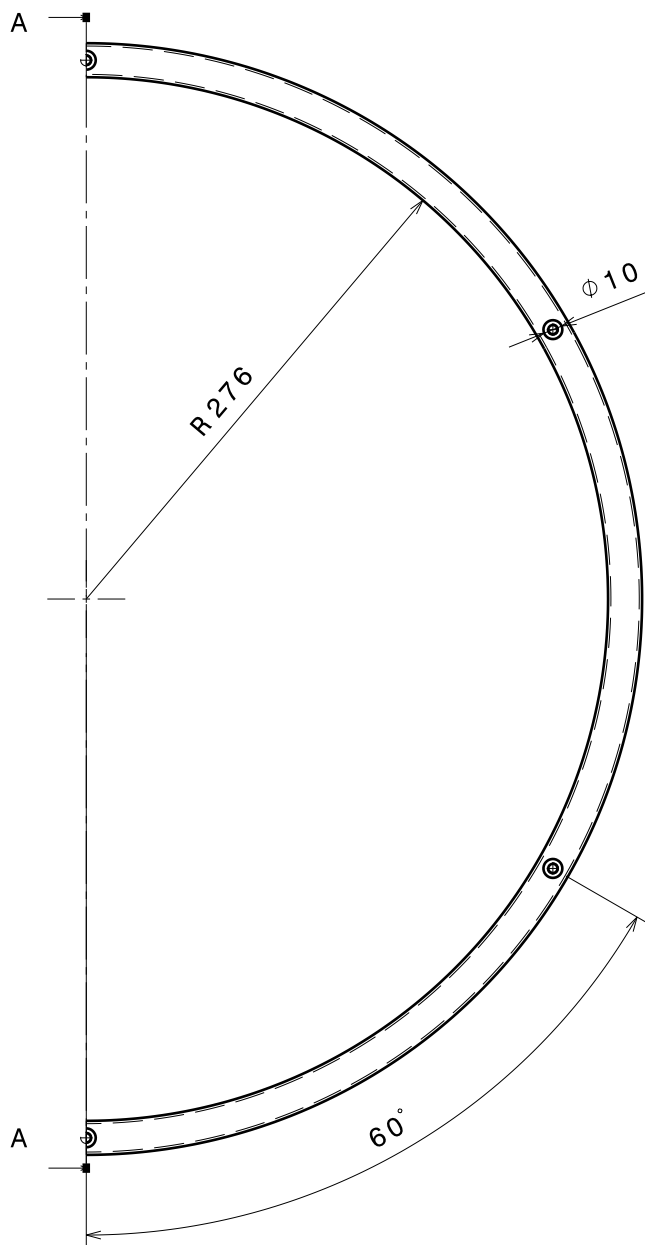
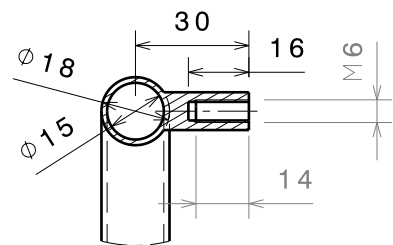
Detalle E
Escala: 1:2

e=2mm



	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL		MATERIAL: EN W 6063 T-5	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI		FIRMA:	
PLANO: LLANTA DE LA RUEDA TRASERA		FECHA: 5/11/2013	ESCALA: 1:4	Nº PLANO: 30	

Detalle B
Escala: 1:2



Universidad Pública de
Navarra
Nafarroako Unibertsitate
Publikoa

E.T.S.I.I.T.

DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E ING. RURAL

TOLERANCIAS SEGÚN
NORMA ISO 2762-M

MATERIAL:
EN W 6063 T-5

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS
CON PALANCAS DE PROPULSIÓN

REALIZADO POR:

TORÁN HUARTE,
IÑAKI

FIRMA:

PLANO:

ARO DE PROPULSIÓN

FECHA:

5/11/2013

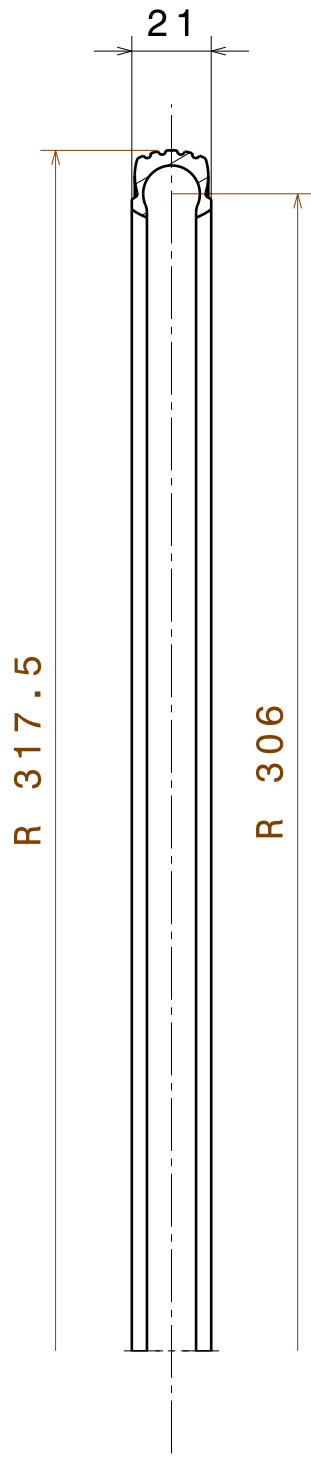
ESCALA:

1:4

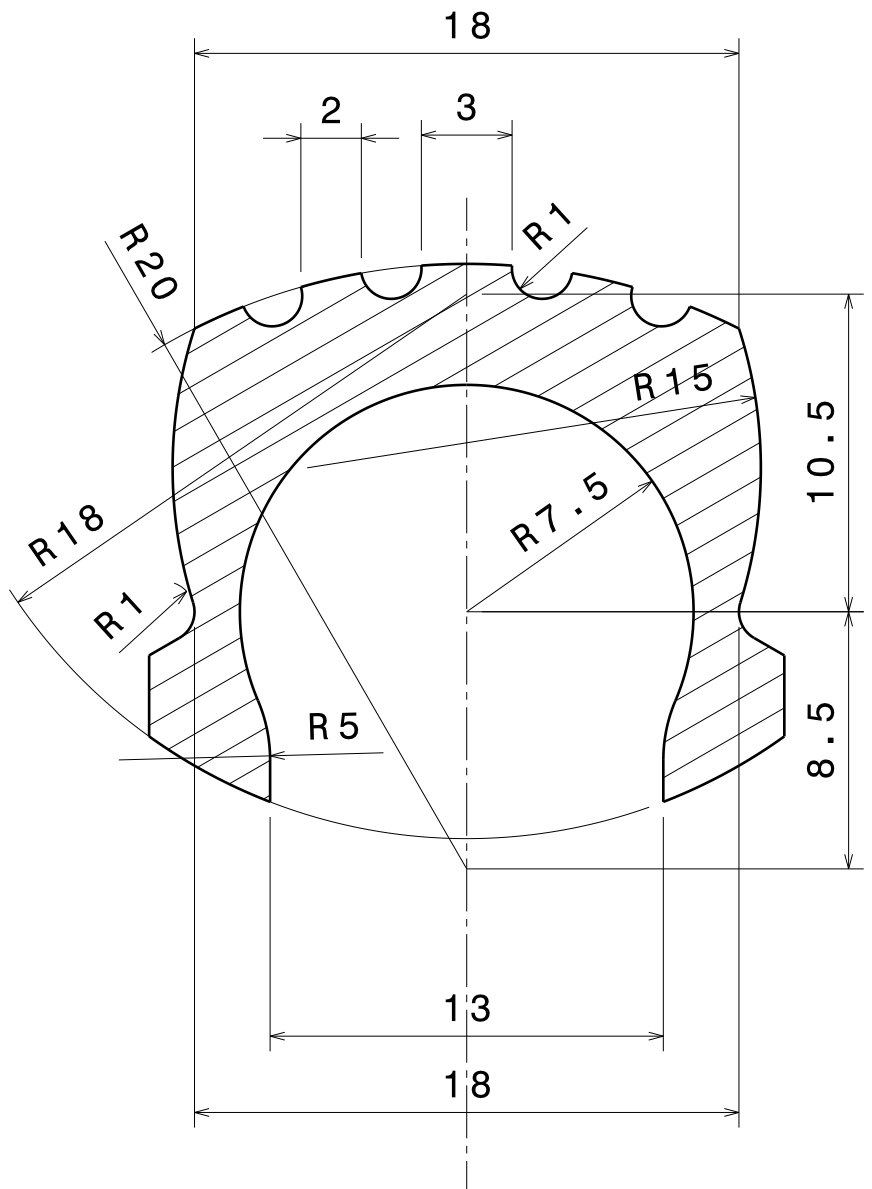
Nº PLANO:

31

Escala: 1:2



Perfil
Escala: 4:1



Universidad Pública de
Navarra
Nafarroako Unibertsitate
Publikoa

E.T.S.I.I.T.

DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E ING. RURAL

TOLERANCIAS SEGÚN
NORMA ISO 2762-M

MATERIAL:
CAUCHO

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS
CON PALANCAS DE PROPULSIÓN

REALIZADO POR:

TORÁN HUARTE,
IÑAKI

FIRMA:

PLANO:

NEUMÁTICO DE LA RUEDA TRASERA

FECHA:

5/11/2013

ESCALA:

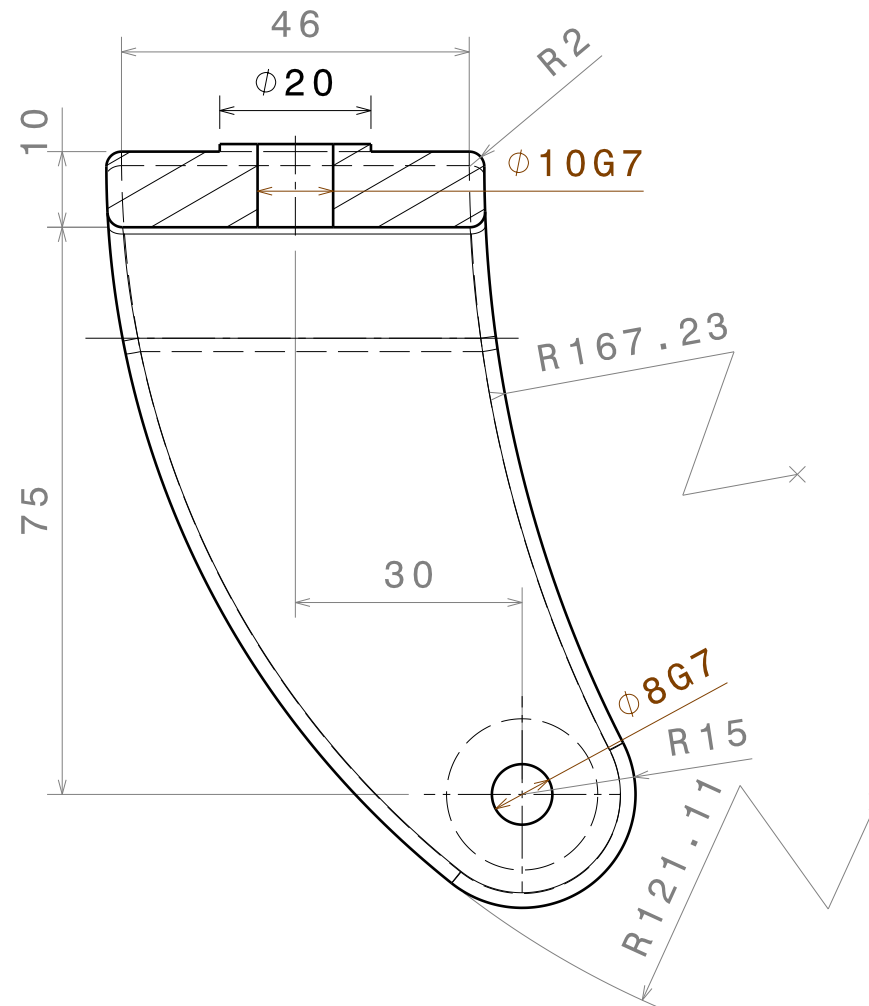
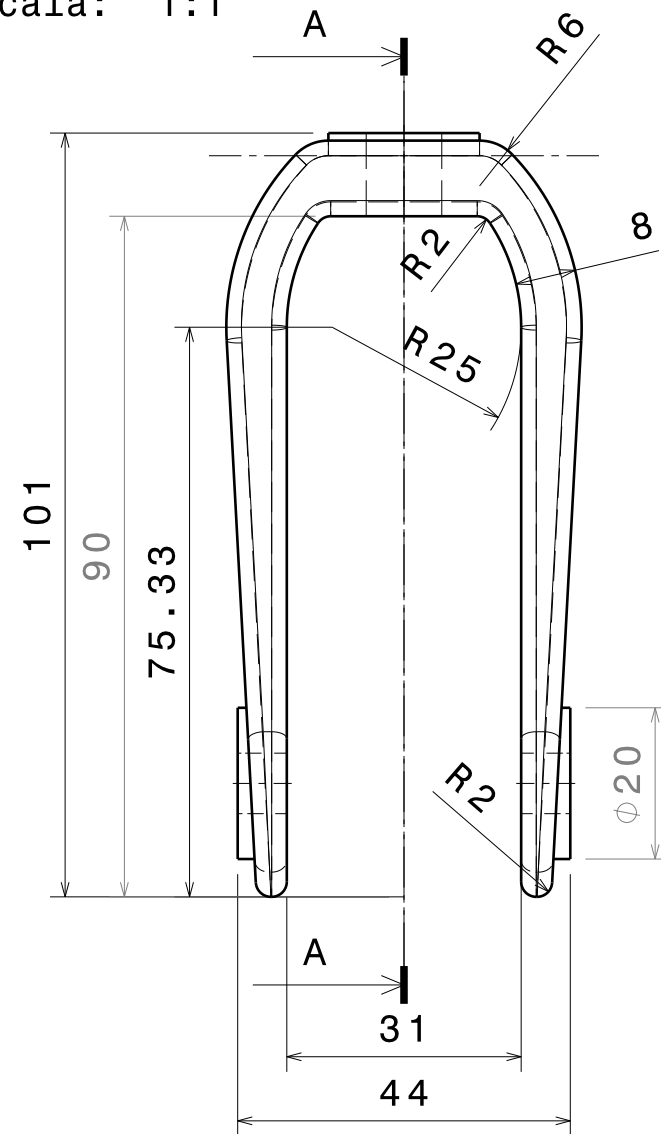
1:2
4:1

Nº PLANO:

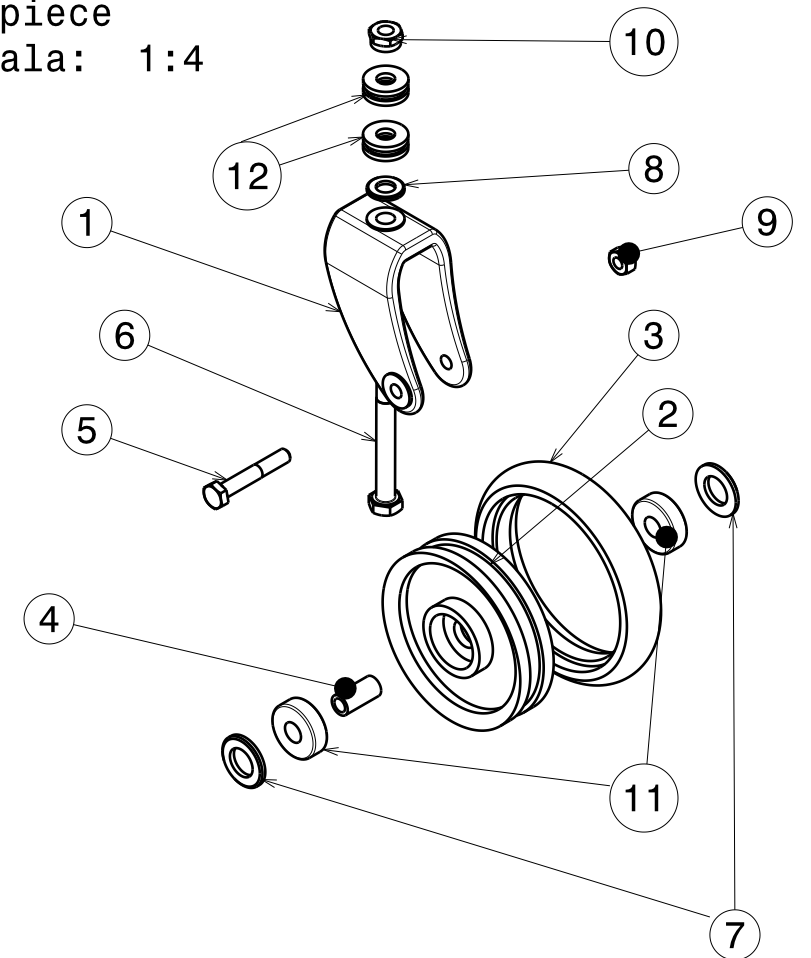
32

1

Escala: 1:1

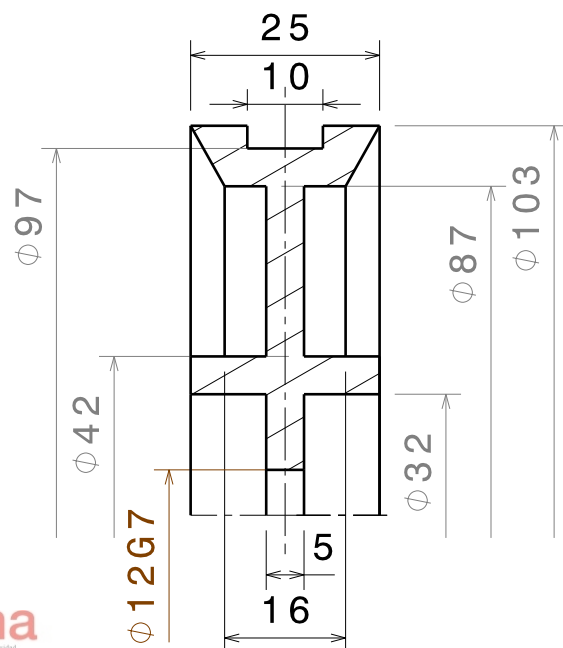


Despiece
Escala: 1:4



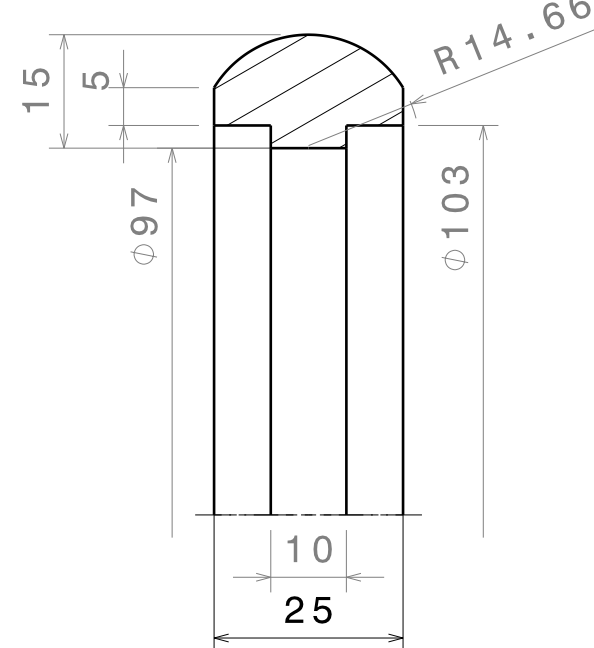
2

Escala: 1:1



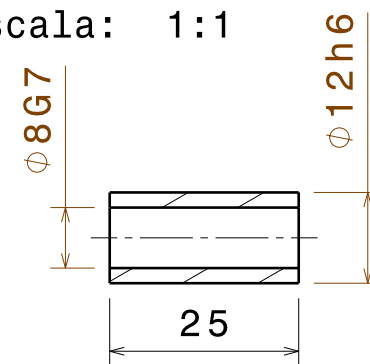
3

Escala: 1:1

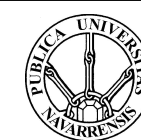


4

Escala: 1:1



12	Rodamientos axi. 511 D10	2	-
11	Rodamientos rad. 6201 ZZ	2	-
10	Tuerca ISO 10511 M10	1	-
9	Tuerca ISO 4032 M8	1	-
8	Arandela ISO 7089 10x20	1	-
7	Arandela ISO 7089 16x30	2	-
6	Tornillo ISO 4014 M10x90	1	-
5	Tornillo ISO 4014 M8x50	1	-
4	Refuerzo del eje	1	Acero
3	Neumático del caster	1	Caucho
2	Llanta del caster	1	EN W 6063 T-5
1	Sillón	1	EN W 6063 T-5
Marca	Denominación	Nº Piezas	Material



Universidad Pública de
Navarra
Nafarroako Unibertsitate
Publikoa

E.T.S.I.I.T.
DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E ING. RURAL

TOLERANCIAS SEGÚN
NORMA ISO 2762-M
MATERIAL:
-

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS
CON PALANCAS DE PROPULSIÓN

REALIZADO POR:

TORÁN HUARTE,
IÑAKI

FIRMA:

PLANO:

RUEDA DELANTERA

FECHA:

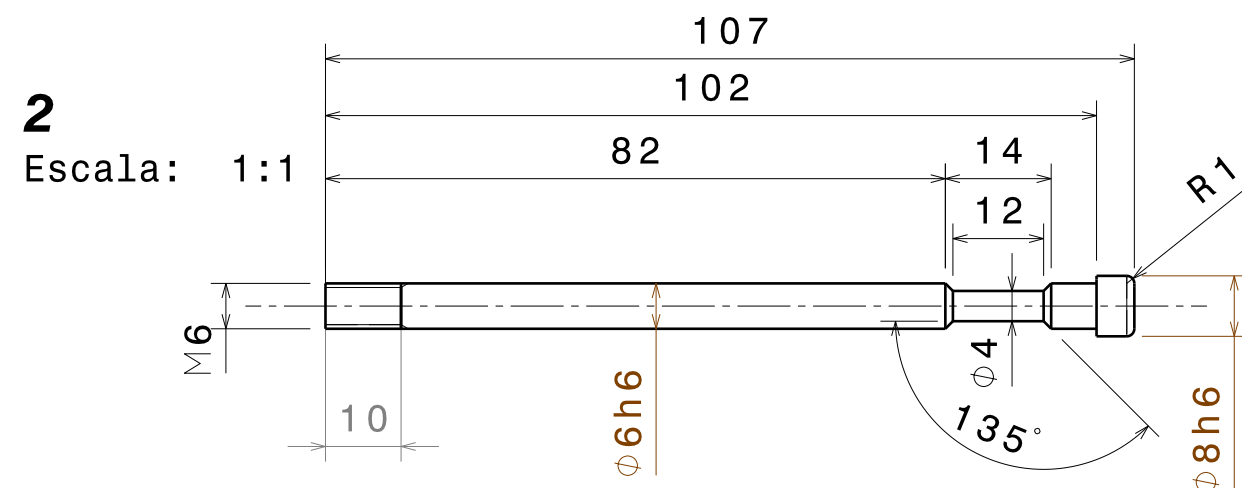
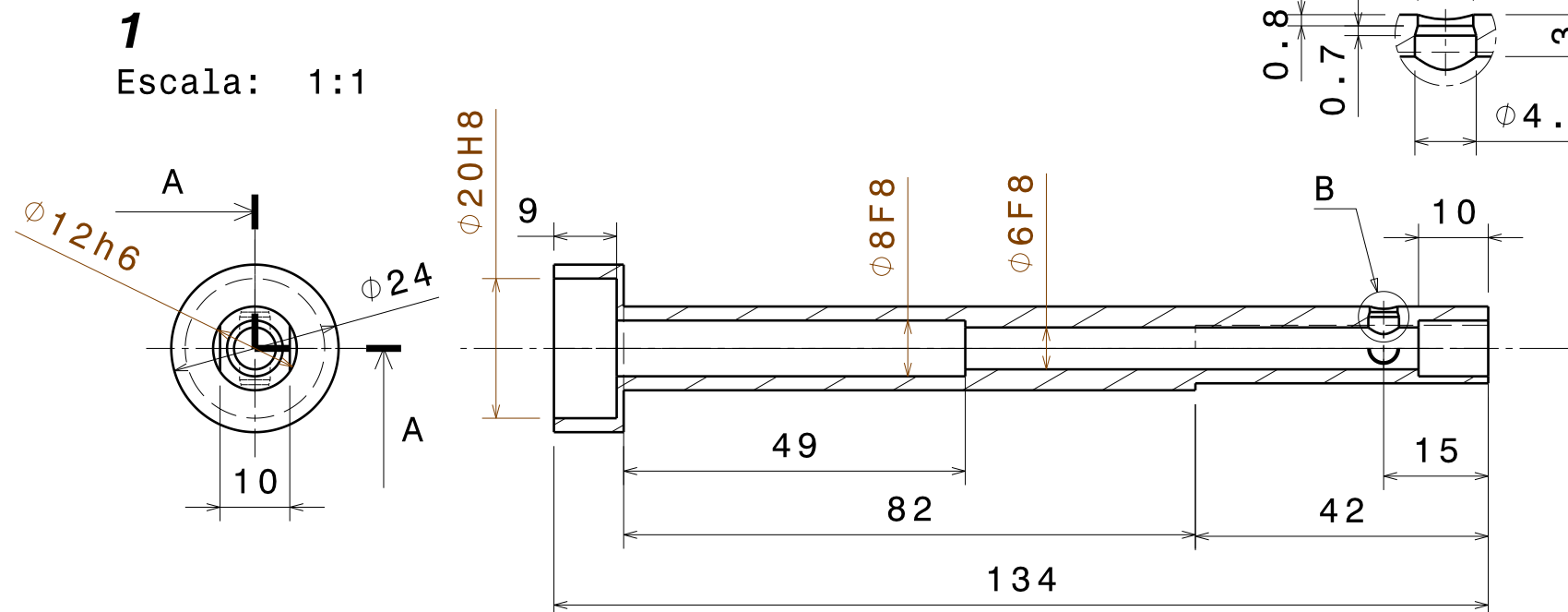
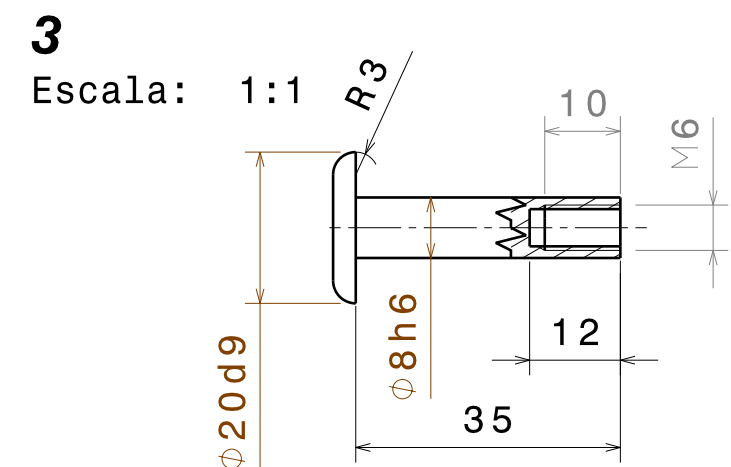
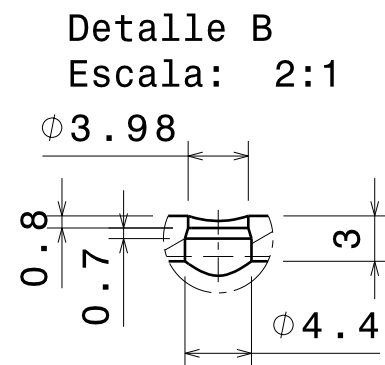
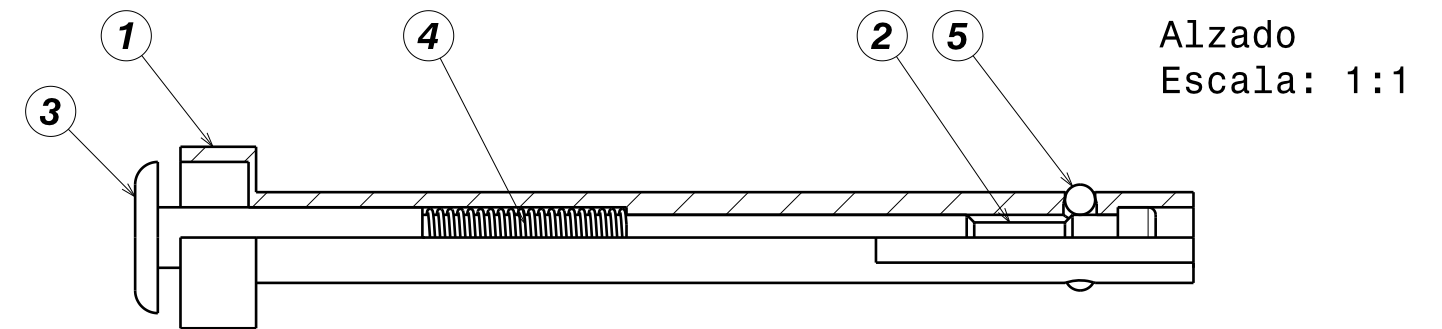
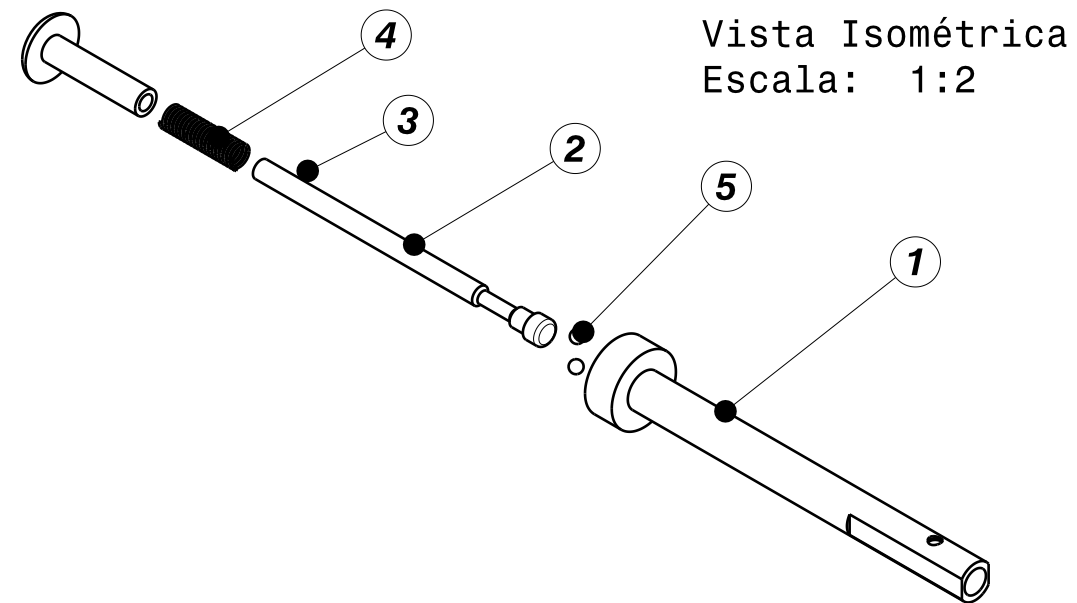
5/11/2013

ESCALA:


1:4
1:1

Nº PLANO:

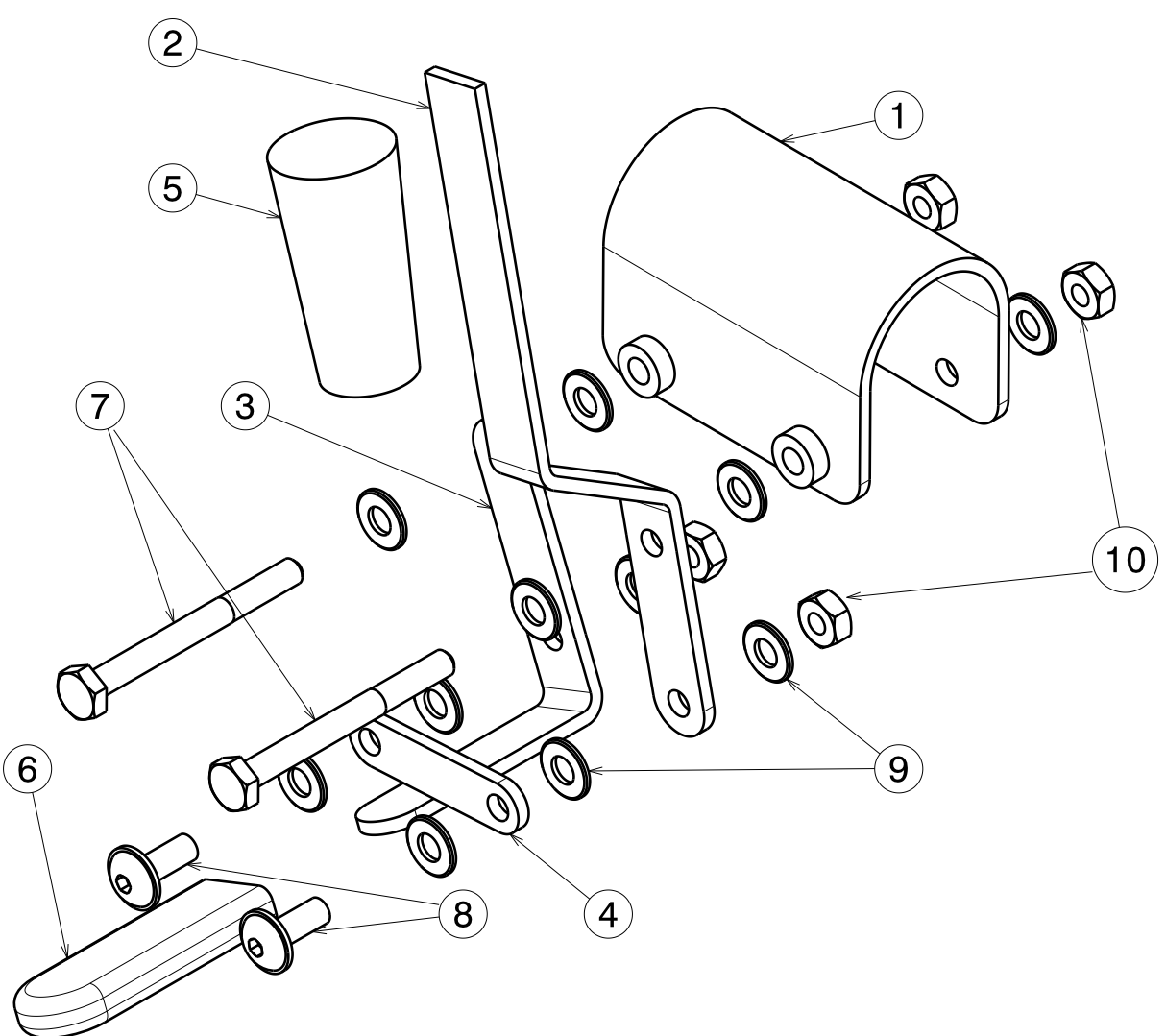
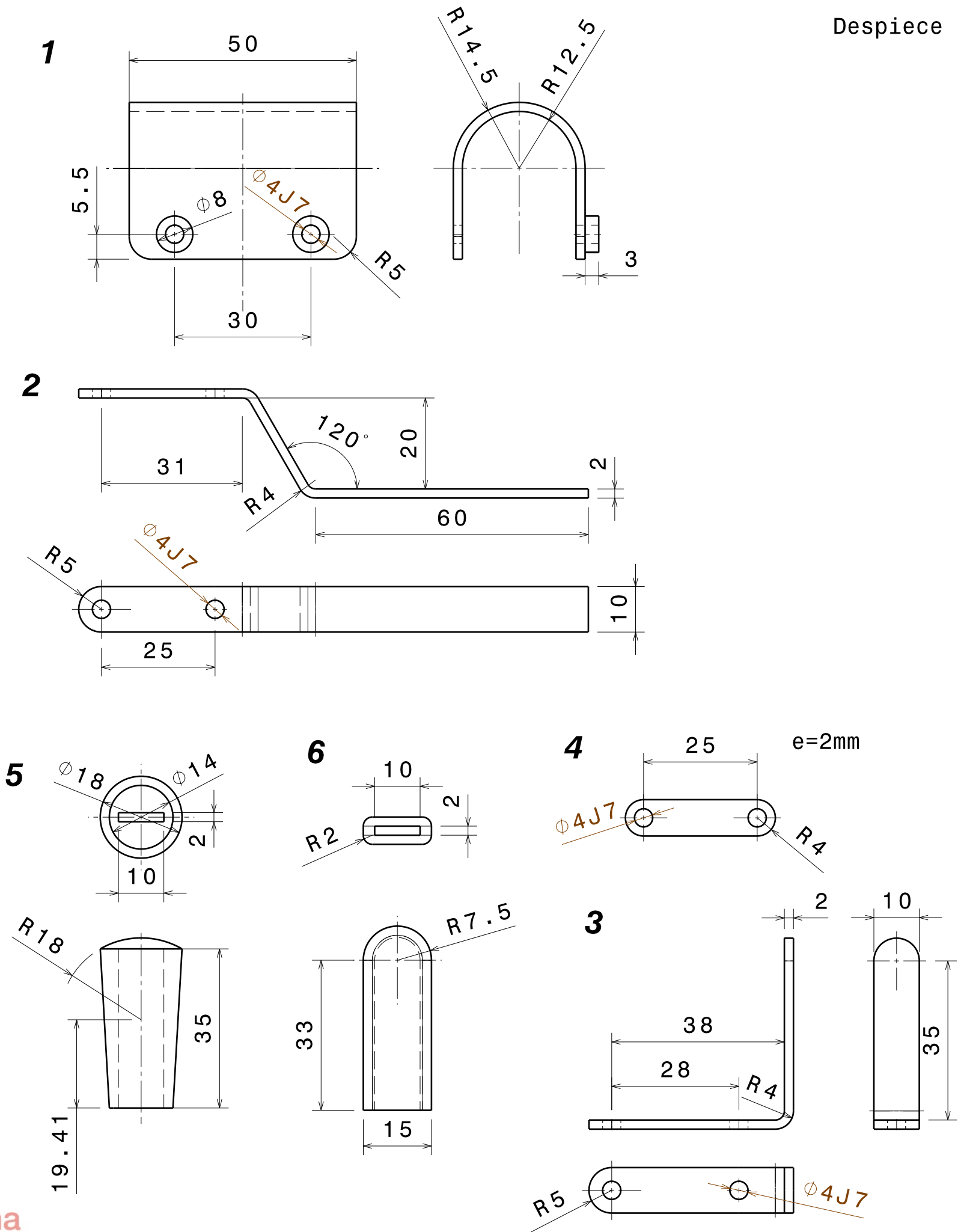
33




5	Bola (R=2mm)	2	Acero
4	Muelle a Compresión C0300-026-1250M	1	Acero
3	Pulsador	1	Acero
2	Pistón	1	Acero
1	Cuerpo	1	Acero
Marca	Denominación	Nº Piezas	Material

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M
	DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL		MATERIAL: -
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI	
PLANO: EJE DE FÁCIL EXTRACCIÓN		FECHA: 5/11/2013	ESCALA: 1:1 1:2 2:1
		Nº PLANO: 37	

Despiece



10	Tuerca ISO 4032 M4	4	-
9	Arandela ISO 7089 4x9	12	-
8	Tornillo WS 9335 M4x10	2	-
7	Tornillo ISO 4014 M4x40	2	-
6	Cojinete de freno	1	Caucho
5	Empuñadura	1	Nylon
4	Eslabón 3	1	Acero
3	Eslabón 2	1	Acero
2	Eslabón 1	1	Acero
1	Abrazadera	1	Acero
Marca	Denominación	Nº Piezas	Material

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2762-M	
	DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL		MATERIAL: -	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS CON PALANCAS DE PROPULSIÓN		REALIZADO POR: TORÁN HUARTE, IÑAKI		FIRMA:
PLANO: SISTEMA DE BLOQUEO		FECHA: 5/11/2013	ESCALA: 1:1	Nº PLANO: 38